



19 BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift
10 DE 42 01 146 A 1

21 Aktenzeichen: P 42 01 146.9
22 Anmeldetag: 17. 1. 92
43 Offenlegungstag: 23. 7. 92

51 Int. Cl. 5:
B 60 K 41/00
B 60 G 17/00
B 60 K 23/04
B 60 K 23/08
B 60 K 26/00
B 60 K 41/28
B 60 T 8/32
B 62 D 6/00
B 60 K 28/16
B 60 K 31/00
B 60 R 16/02
F 02 D 41/10

DE 42 01 146 A 1

30 Unionspriorität: 32 33 31
18.01.91 JP 3-004242 20.02.91 JP 3-026455

71 Anmelder:
Hitachi, Ltd., Tokio/Tokyo, JP

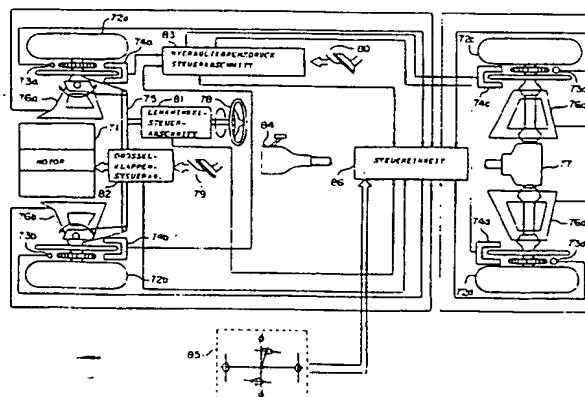
74 Vertreter:
Beetz, R., Dipl.-Ing. Dr.-Ing.; Timpe, W., Dr.-Ing.;
Siegfried, J., Dipl.-Ing.; Schmitt-Fumian, W., Prof.
Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.; Mayr, C.,
Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., Pat.-Anwälte, 8000 München

72 Erfinder:
Nakamura, Mitsuru, Katsuta, JP; Yamakado,
Makoto, Ibaraki, JP

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 System für die Vorhersage des Verhaltens eines Kraftfahrzeugs und für die hierauf basierende Steuerung des Fahrzeugverhaltens

57 Ein System für die Erfassung der dem Verhalten eines Kraftfahrzeugs (1) zugeordneten physikalischen Größen umfasst Beschleunigungssensoren (85), die auf den Achsen eines im Fahrzeug ruhenden Koordinatensystems angebracht sind, eine Einheit (86) für die Aufstellung von Transformationsgleichungen, um die linearen Beschleunigungswerte und die Winkelbeschleunigungswerte an einem beliebigen Punkt des Fahrzeugs bezüglich eines beliebigen Koordinatensystems zu bestimmen, eine Einheit (86) für die Berechnung der Lösung der Transformationsgleichungen, mit der die erwähnten Beschleunigungswerte bezüglich des beliebigen Koordinatensystems erhalten werden, eine Einheit (86) für die Aufstellung von Bewegungsgleichungen, die den Bewegungen in einer Mehrzahl von Freiheitsgraden entsprechen, und eine Einheit (86) für die Berechnung der Lösungen der Bewegungsgleichungen mittels der erwähnten Beschleunigungswerte bezüglich des beliebigen Koordinatensystems, um so die dem Fahrzeugverhalten zugeordneten physikalischen Größen zu erhalten.



DE 42 01 146 A 1

Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein System für die Erfassung der Werte von dem Verhalten oder der Bewegung eines Kraftfahrzeugs zugeordneten physikalischen Größen gemäß dem Oberbegriff des Anspruches 1 und ein System für die Steuerung des Verhaltens oder der Bewegung des Fahrzeugs auf der Grundlage der erfaßten Werte der der Fahrzeugbewegung zugeordneten physikalischen Größen gemäß dem Oberbegriff des Anspruches 10 und insbesondere ein System für die Erfassung physikalischer Daten wie etwa einer Beschleunigung, einer Geschwindigkeit, einer Winkelgeschwindigkeit, einer Kraft, eines Drehmoments und dergleichen an einem ausgewählten Punkt im Fahrzeug und für die Steuerung dieser physikalischen Größen, um so ein gewünschtes Verhalten oder eine gewünschte Bewegung des Fahrzeugs zu erzielen; ferner betrifft die vorliegende Erfindung ein System, das ein Referenzmodell mit einer vorgegebenen Ansprechcharakteristik enthält, um das Fahrzeugverhalten bei der Überwachung der dem Fahrzeugverhalten zugeordneten physikalischen Größen gemäß der Ansprechcharakteristik des Referenzmodells zu steuern.

Als typisches Verhaltensmodell kann das Fahrzeugverhalten einer Fahrzeugkarosserie mit zwei lenkbaren Vorderrädern und zwei als starr anzusehenden Hinterrädern betrachtet werden. Wie in Fig. 1 gezeigt, kann in diesem Fall ein dreidimensionales Koordinatensystem mit x-, y- und z-Achsen, dessen Ursprung im Schwerpunkt G der Fahrzeugkarosserie 1 angeordnet ist, aufgestellt werden. Wenn das Fahrzeugverhalten um den Schwerpunkt als Bewegung eines starren Körpers im dreidimensionalen Raum betrachtet wird, kann das Fahrzeugverhalten als Bewegung mit sechs Freiheitsgraden klassifiziert werden, wobei die einzelnen Freiheitsgrade folgendermaßen gegeben sind: (1) lineare Bewegung entlang der x-Achse — Längsbewegung; (2) lineare Bewegung entlang der y-Achse — Querbewegung; (3) lineare Bewegung entlang der z-Achse — vertikale Bewegung; (4) Drehbewegung um die x-Achse — Rollbewegung; (5) Drehbewegung um die y-Achse — Nickbewegung; und (6) Drehbewegung um die z-Achse — Gierbewegung;

Diese Bewegungen sind eng mit den Fahreigenschaften des Fahrzeugs verbunden. Beispielsweise stellen das Gieren und das Rollen wichtige Faktoren für die Bestimmung der Fahrstabilität des Fahrzeugs dar. Andererseits werden die Nickbewegung und die vertikale Bewegung durch eine wellige Fahrbahn und/oder eine Beschleunigung bzw. eine Verzögerung des Fahrzeugs verursacht und stehen mit dem Fahrkomfort des Fahrzeugs in Zusammenhang.

In der fortschrittlichen Automobiltechnik der letzten Jahre sind aktive Steuerungstechniken wie etwa ein Antiblockiersystem, eine Traktionssteuerung, ein Vierradantrieb, eine Vierradsteuerung, eine aktive Radaufhängung und dergleichen, die sämtlich einer gewünschten Steuerung des Fahrzeugeigenschaften dienen, entwickelt worden und unterliegen weiterhin einer ständigen Weiterentwicklung. In derartigen Kraftfahrzeugsteuerungstechniken ist es notwendig, das Fahrzeugverhalten, insbesondere eine Beschleunigung (oder Winkelbeschleunigung), von Zeit zu Zeit zu überwachen. Zu diesem Zweck werden oftmals eine Mehrzahl von Beschleunigungen benutzt.

Für die Überwachung des Fahrzeugverhaltens ist beispielsweise aus JP-U-2-30 780-A ein Verfahren bekannt, in dem unter Verwendung zweier Beschleunigungssensoren, die im vorderen bzw. im hinteren Bereich des Fahrzeugs angebracht sind, die Fahrzeug-Querbewegung und die Gier-Winkelbeschleunigung erfaßt werden und in dem die Ausgaben dieser Sensoren rechnerisch verarbeitet werden. Außerdem werden für die Steuerung des Fahrzeugverhaltens die Position des Fahrzeugschwerpunkts, der Querschubwinkel an jedem Rad und der Radschlupf als wichtige Faktoren betrachtet. Der Querschubwinkel ist ein Winkel, der auf der Grundlage des Verhältnisses zwischen der Längsgeschwindigkeit und der Quergeschwindigkeit des Fahrzeugs abgeleitet wird und die Fahrzeug-Lenkcharakteristik beeinflusst. Andererseits stellt der Radschlupf eine Größe dar, die durch die Division der Differenz zwischen der Geschwindigkeit der Fahrzeugkarosserie und der Rotationsgeschwindigkeit eines Fahrzeugrades durch die Geschwindigkeit der Fahrzeugkarosserie enthalten wird. Es ist bekannt, daß es einen optimalen Bereich des Radschlupfs gibt, in dem die Motorantriebskraft und die Bremskraft auf die Fahrbahn am effektivsten übertragen werden. Unter den aktiven Steuerungstechniken gibt es einige Systeme, die die Motorantriebskraft optimal auf die vier Räder verteilen, um den Querschubwinkel auf Null zu verringern, und einige Systeme, die die Motorausgangsleistung und/oder die Bremskräfte steuern.

Das Fahrzeugverhalten während der Fahrt ist jedoch typischerweise durch ein aus den obenerwähnten Bewegungen in sechs Freiheitsgraden zusammengesetztes Verhalten gegeben. Um daher das Fahrzeugverhalten zufriedenstellend überwachen zu können, sind mindestens sechs Beschleunigungssensoren notwendig. Da außerdem die Sensoren selbst an der Fahrzeugkarosserie angebracht sind, die einer beschleunigten Bewegung unterworfen ist, müssen die von diesen Sensoren erfaßten Werte in bezug auf ein beschleunigtes Koordinatensystem verarbeitet werden. Ferner kann sich die Erfassungsrichtung des Sensors entsprechend der Drehung des Fahrzeugs relativ zum Koordinatensystem der Straße (ruhendes Koordinatensystem oder Bezugssystem) drehen. Daher ist eine Korrektur mittels Transformation des Koordinatensystems (beispielsweise mittels einer Eulerwinkel-Transformation) notwendig.

Im Stand der Technik ist jedoch keine Lehre bekannt, mit der das obenerwähnte Problem gelöst werden könnte, so daß eine Steigerung der Erfassungsgenauigkeit des Fahrzeugverhaltens begrenzt ist. Dies kann bei der Verwirklichung weiterer fortgeschrittener Fahrzeugsteuerungstechniken ein Hindernis darstellen.

Aus der US 48 29 434-A (9. Mai 1989), die ein "lernendes Fahrzeug" betrifft, ist ein System bekannt, das das "Fahrzeugverhalten" des Fahrers, die "Umgebungsbedingungen" wie etwa das Wetter und die Abstände zu in der Nähe befindlichen Fahrzeugen und "Fahrzeug-Fahrzustände" wie etwa die Fahrzeuggeschwindigkeit und die -beschleunigung mittels Sensoren erfaßt und für das Fahrzeug eine vollständige Rückkopplungssteuerung ausführt, indem es eine intelligente Basis bezüglich dreier Grundbedingungen, d. h. dem Fahrverhalten, den Umgebungsbedingungen und dem Fahrzeug-Fahrzustand erstellt und auf dieser Basis den optimalen Zustand ableitet.

- Mit der in der obenerwähnten US-Anmeldung vorgeschlagenen Steuerungstechnik ist beabsichtigt, ein verbessertes Kriterium für die (normale) Kurvenfahrt des Fahrzeugs zu schaffen. Wenn daher das Fahrzeug in seitlicher Richtung rutscht oder schleudert, ist das System wirkungslos.

Wenn das Fahrzeug in einem Ausmaß, das das Kriterium für die normale Kurvenfahrt nicht erfüllt, in seitlicher Richtung rutscht oder schleudert, kann gemäß der Theorie des Fahrzeugverhaltens dieses Schleudern dadurch verringert werden, daß der Lenkeinschlag in die neutrale Position oder über die neutrale Position hinaus zurückgestellt wird (Gegensteuern). Wenn andererseits ein wesentliches Untersteuern auftritt, das die Kurvenfahrt stark erschwert, kann der Einsatz der Handbremse mit dem Ziel des Blockierens der Hinterräder (Schleuderwende) zu einer Verringerung des Kurvenradius beitragen. Die Technik des Gegensteuerns und die Technik der Schleuderwende stellen beide hohe Anforderungen an den Fahrer, die der Durchschnittsfahrer nur schwer erfüllen kann. Im Falle des Gegensteuerns ist viel Erfahrung notwendig, um den erforderlichen Lenkwinkel in der Gegenrichtung genau auszumachen. Auch die Technik der Schleuderwende ist eine sehr schwierige Fahrttechnik, die nur von sehr geübten Fahrern ausgeführt werden kann.

Es ist daher die erste Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Vorhersagesystem der gattungsgemäßen Art zu schaffen, mit dem ein künftiges Fahrzeugverhalten vorhergesagt werden kann, indem das System an einem ausgewählten Punkt im Fahrzeug die Werte der einer Fahrzeugbewegung zugeordneten physikalischen Größen in sämtlichen Richtungen erfaßt.

Es ist eine zweite Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Steuersystem der gattungsgemäßen Art zu schaffen, mit dem auf der Grundlage der erfaßten Werte der dem Fahrzeugverhalten zugeordneten physikalischen Größen das Fahrzeug in einen gewünschten Fahrzeuggegenstand versetzt werden kann.

Es ist eine dritte Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Steuersystem der gattungsgemäßen Art zu schaffen, mit dem eine Steuerung gemäß der Verhaltenscharakteristik eines Referenzmodells, die sich von der Verhaltenscharakteristik des zu steuernden Fahrzeugs unterscheidet, ausgeführt werden kann.

Die erste Aufgabe wird gelöst durch ein Vorhersagesystem, das die Werte der dem Verhalten eines Kraftfahrzeugs zugeordneten physikalischen Größen erfaßt und das versehen ist mit Beschleunigungssensoren für die Erfassung der Drehbewegung und der linearen Bewegung des Fahrzeugs um wenigstens zwei bzw. entlang wenigstens zweier Achsen des die Fahrzeuglängsachse, die durch den Schwerpunkt des Fahrzeugs verlaufende vertikale Achse und die Fahrzeugquerachse umfassenden Koordinatensystems, einer Einrichtung für die Aufstellung von Bewegungsgleichungen bezüglich jeder der Achsen an ausgewählten Punkten im Fahrzeug unter gleichzeitiger Verwendung von durch die Beschleunigungssensoren erfaßten Beschleunigungswerten von wenigstens zwei Drehbewegungen, und einer Einrichtung für die Ableitung der Werte der dem Fahrzeugverhalten des Fahrzeugs zugeordneten physikalischen Größen durch die Lösung von entsprechenden Bewegungsgleichungen.

Die zweite Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Steuersystem zum Steuern des Verhaltens eines Kraftfahrzeugs; das versehen ist mit Beschleunigungssensoren für die Erfassung der Beschleunigungswerte der Drehbewegung und der linearen Bewegung des Fahrzeugs um zwei bzw. entlang zweier Achsen des die Fahrzeuglängsachse, die durch den Schwerpunkt des Fahrzeugs verlaufende vertikale Achse und die Fahrzeugquerachse umfassenden Koordinatensystems, einer Einrichtung für die Erfassung der Rotationsgeschwindigkeit der Räder des Fahrzeugs, einer Einrichtung für die Erfassung der Radaufhängungsgeometrie des Fahrzeugs und somit für die Erfassung der Fahrzeughöhe, einer Einrichtung für die Erfassung des mittels eines Lenkrades eingestellten Lenkwinkels und einer Steuereinrichtung für die Steuerung des Fahrzeugverhaltens auf der Grundlage der erfaßten Beschleunigung, der erfaßten Radgeschwindigkeit, der erfaßten Fahrzeughöhe und des erfaßten Lenkwinkels.

Die dritte Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Steuersystem zum Steuern des Verhaltens eines Kraftfahrzeugs, das versehen ist mit einer Einrichtung für die Erfassung der Betriebsgrößen für die Steuerung des Lenksystems, des Motors, der Kraftübertragung und des Radaufhängungssystems, einer Einrichtung für die Erfassung der Steuergrößen einer Betätigungseinrichtung für die Steuerung des Lenksystems, des Motors, der Kraftübertragung und des Radaufhängungssystems, einer Einrichtung für die Erfassung der mit dem Fahrverhalten verbundenen Größen in jeder der drei Raumrichtungen des Fahrzeugs, einer Einrichtung zum Speichern eines Standard-Verhaltensmodells, das die Betriebsgrößen eines Standardfahrzeugs mit einer vorgegebenen Referenz-Ansprechcharakteristik verwendet, zum Speichern der dem momentanen Verhalten des Fahrzeugs zugeordneten Größen und zum Ausgeben der dem künftigen Verhalten des Standardfahrzeugs zugeordneten Größen, einer ersten Vorhersageeinrichtung für die Vorhersage der dem Verhalten des Standardfahrzeugs zugeordneten Größen gemäß dem Standard-Verhaltensmodell gemäß der Eingangsdaten der erfaßten momentanen Verhalten des Fahrzeugs zugeordneten Größen, einer Einrichtung zum Speichern eines Verhaltens-Vorhersagemodells des tatsächlich zu steuernden Fahrzeugs unter Verwendung der Betriebsgrößen und der dem tatsächlich zu steuernden Fahrzeug zugeordneten Größen und zum Ausgeben der dem künftigen Verhalten des Fahrzeugs zugeordneten Größen aufgrund der eingegebenen Daten, einer zweiten Vorhersageeinrichtung für die Vorhersage der dem Verhalten des tatsächlich zu steuernden Fahrzeugs zugeordneten Größen gemäß dem Verhaltens-Vorhersagemodell des tatsächlich zu steuernden Fahrzeugs auf der Grundlage der erfaßten momentanen Betriebsgrößen und der dem Verhalten zugeordneten Größen, einer ersten Differenzfassungseinrichtung für den Vergleich der Werte der dem Verhalten des Standardfahrzeugs zugeordneten Größen, die von der ersten Vorhersageeinrichtung vorhergesagt wurden, mit den Werten der dem Verhalten des tatsächlich zu steuernden Fahrzeugs zugeordneten Größen, die von der zweiten Vorhersageeinrichtung vorhergesagt wurden, um die Differenz zwischen den vorhergesagten Größen zu erfassen, einer zweiten Differenzfassungseinrichtung für den Vergleich der Werte der dem Verhalten des tatsächlich zu steuernden Fahrzeugs zugeordneten Größen mit dem Wert der Größe des Verhaltens, der von der ersten Vorhersageeinrichtung vorhergesagt wurde, um die Differenz zwischen diesen Werten abzuleiten, und einer Steuereinrichtung, die auf die Differenz

der von der ersten Differenzfassungseinrichtung erfaßten Vorhersagewerte anspricht, falls ein vorgegebener Differenzwert überschritten wird, um die Steuergrößen der Betätigungseinrichtung in einer Richtung anzupassen, damit die von der zweiten Differenzfassungseinrichtung erfaßte Differenz verkleinert wird.

In der bevorzugten Ausführungsform können verschiedene physikalische Größen wie etwa die Kräfte entlang den Fahrzeugachsen (Längsachse, Querachse, vertikale Achse), die Beschleunigungen, die Geschwindigkeiten, die Drehmomente um die jeweiligen Achsen (Nickbewegung, Rollbewegung, Gierbewegung), die Winkelbeschleunigungen, die Winkelgeschwindigkeiten, die sämtlich mit dem Fahrzeugverhalten in Verbindung stehen, durch eine rechnerische Verarbeitung der Ausgaben der an ausgewählten Positionen der gefederten Masse (Fahrzeugkarosserie) des Fahrzeugs angebrachten sechs Beschleunigungserfassungseinrichtungen abgeleitet werden.

Andererseits kann durch die genaue Erfassung sowohl des Verhaltens der Fahrzeugkarosserie von Zeit zu Zeit als auch der von Sensoren wie etwa einem Radgeschwindigkeitssensor, einem Lenkwinkelsensor und dergleichen ausgegebenen Daten, die mit dem Fahrzeugverhalten in Verbindung stehen, eine fortschrittliche Fahrzeugsteuerung verwirklicht werden.

In einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist bei Auftreten eines Schleuderns, eines Rutschens oder eines wesentlichen Untersteuerns des Fahrzeugs, die außerhalb der Bewegungskriterien desselben liegen, eine zur Steuerung von erfahrenen Fahrern gleichwertige Steuerung möglich, mit der das Fahrzeugverhalten innerhalb gegebener Kriterien gehalten werden kann. Dies trägt zur Sicherheit und zur Vermeidung von Gefahren bei.

Weitere Aufgaben, Merkmale und Vorteile der Erfindung sind in den Unteransprüchen, die sich auf besondere Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung beziehen, angegeben.

Die Erfindung wird im folgenden anhand bevorzugter Ausführungsformen mit Bezug auf die Zeichnungen näher erläutert, es zeigen:

Fig. 1 eine Darstellung der Richtungen der Größen, die den möglichen Bewegungen eines Kraftfahrzeugs zugeordnet sind;

Fig. 2 ein Blockschaltbild einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Steuersystems;

Fig. 3 ein Blockschaltbild des Lenkwinkel-, Drosselklappenöffnungswinkel- und Bremsdruck-Steuerabschnittes gemäß der vorliegenden Erfindung;

Fig. 4 eine erläuternde Darstellung der Anordnung der Beschleunigungssensoren im Fahrzeug gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 5 eine erläuternde Darstellung der Anordnung der Beschleunigungssensoren im Fahrzeug gemäß einer zweiten Anordnung der vorliegenden Erfindung;

Fig. 6 eine erläuternde Darstellung der Anordnung der Beschleunigungssensoren im Fahrzeug gemäß einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 7 eine erläuternde Darstellung eines bewegten Koordinatensystems und eines ruhenden Koordinatensystems, die für die erfindungsgemäße Steuerung verwendet werden;

Fig. 8 eine erläuternde Darstellung für die Definition der Koordinatenpunkte der Sensoren und der Vektoren;

Fig. 9 eine Darstellung für die Definition verschiedener Variablen in der Eulerwinkel-Transformation;

Fig. 10 ein Blockschaltbild des Hardwareaufbaus eines Systems für die Vorhersage des Fahrzeugverhaltens;

Fig. 11 eine Darstellung des von einem Mikrocomputer ausgeführten Prozesses der arithmetischen Operation für die Vorhersage des Fahrzeugverhaltens;

Fig. 12 eine Darstellung eines vom Mikrocomputer ausgeführten Prozesses einer arithmetischen Operation für die Vorhersage des Fahrzeugverhaltens, der mit dem Prozeß von Fig. 11 eine Abfolge bildet;

Fig. 13 eine Darstellung eines vom Mikrocomputer ausgeführten Prozesses einer arithmetischen Operation für die Vorhersage des Fahrzeugverhaltens, der mit den Prozessen der Fig. 11 und 12 eine Abfolge bildet;

Fig. 14 eine Darstellung eines vom Mikrocomputer ausgeführten Prozesses einer arithmetischen Operation für die Vorhersage des Fahrzeugverhaltens, der mit den Prozessen der Fig. 11, 12, und 13 eine Abfolge bildet;

Fig. 15 eine Darstellung eines vom Mikrocomputer ausgeführten Prozesses einer arithmetischen Operation für die Vorhersage des Fahrzeugverhaltens, der mit den Prozessen der Fig. 11, 12, 13 und 14 eine Abfolge bildet;

Fig. 16 ein schematisches Blockschaltbild, das skizzenhaft den Gesamtaufbau eines Steuersystems (zentrale oder konzentrierte Steuerung) des Kraftfahrzeugs wiedergibt;

Fig. 17 ein schematisches Blockschaltbild, das skizzenhaft den Gesamtaufbau eines Steuersystems (dezentrale, unabhängige Steuerung) des Kraftfahrzeugs wiedergibt;

Fig. 18 eine schematische und erläuternde Darstellung des gesamten Steuersystems bei Verwendung verschiedener Sensoren;

Fig. 19 eine Darstellung der Koordinaten an den Radpositionen in bezug auf den Schwerpunkt des Fahrzeugs;

Fig. 20 eine Darstellung des Prozesses für die Vorhersage des Querschubwinkels;

Fig. 21 eine Darstellung des Prozesses für die Vorhersage des Radschlupfs;

Fig. 22 eine Darstellung des Prozesses für die Vorhersage einer Fahrtrichtung und der Entfernung von einem gesetzten Zeitpunkt;

Fig. 23 ein Blockschaltbild für ein ein Referenzmodell verwendendes System für die Steuerung des Fahrzeugverhaltens gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 24 eine Darstellung des Aufbaus des Lenkwinkel-Steuerabschnittes;

Fig. 25 eine Darstellung des Aufbaus des Drosselklappenöffnungswinkel-Steuerabschnittes;

Fig. 26 eine Darstellung des Aufbaus eines Differentialmechanismus im Drosselklappenöffnungswinkel-Steuerabschnitt;

Fig. 27 eine Darstellung des Aufbaus des Hydraulikbremsdruck-Steuerabschnittes;

Fig. 28 eine Darstellung der Verbindungen zwischen den Sensoren der sechs Freiheitsgrade und einem

Steuerabschnitt;

Fig. 29 eine Darstellung des Fahrzeugverhaltens bei Auftreten einer Schleuderbewegung;

Fig. 30 eine Darstellung des Fahrzeugverhaltens, wenn der Schleuderbewegung gegengesteuert wird,

Fig. 31 ein Gleichgewicht von am Fahrzeug angreifenden Kräften in zwei Dimensionen bei Abwesenheit eines Querschubs im Schwerpunkt des Fahrzeugs;

Fig. 32 ein Gleichgewicht von am Fahrzeug angreifenden Kräften in zwei Dimensionen bei Auftreten eines Querschubs im Schwerpunkt des Fahrzeugs;

Fig. 33 ein Gleichgewicht von am Fahrzeug angreifenden Kräften in zwei Dimensionen, wenn dem Querschub im Schwerpunkt des Fahrzeugs durch Gegensteuern entgegengewirkt wird;

Fig. 34 eine Darstellung eines Prozesses der Steuerung der Seitenführungskraft gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 35 eine Darstellung eines Prozesses der Vorhersage des Fahrzeugverhaltens gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 36 eine Darstellung eines Prozesses der gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung auszuführenden Steuerung;

Fig. 37 eine Darstellung des Fahrzeugverhaltens des Fahrers, um den Querschubwinkel im Schwerpunkt eines typischen Fahrzeugs in positiver Richtung zu erhöhen;

Fig. 38 eine Darstellung des Fahrverhaltens des Fahrers, um bei Auftreten eines Übersteuerns den Querschubwinkel im Schwerpunkt eines typischen Fahrzeugs in positiver Richtung zu erhöhen;

Fig. 39 eine Darstellung des Prozesses für die Korrektur der Charakteristik eines Referenz-Fahrzeugmodells; und

Fig. 40 eine Darstellung der Bewegungsgleichungen des Referenzmodells und des Bewegungsmodells für das zu steuernde Fahrzeug.

In Fig. 2 ist eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Systems gezeigt. Das gezeigte System enthält einen Verbrennungsmotor 71, ein rechtes Vorderrad 72a, ein linkes Vorderrad 72b, ein rechtes Hinterrad 72c und ein linkes Hinterrad 72d, Radgeschwindigkeitssensoren 73a, 73b, 73c und 73d für die jeweiligen Räder, Bremsmechanismen 74a, 74b, 74c und 74d für die jeweiligen Räder, Aufhängungsmechanismen 76a, 76b, 76c und 76d für die jeweiligen Räder, eine gesteuerte Differentialgetriebeeinheit 77, ein Lenkrad 78, ein Gaspedal 79, ein Bremspedal 80, einen Lenkwinkel-Steuerabschnitt 81, einen Drosselklappenöffnungswinkel-Steuerabschnitt 82, einen Hydraulikbremsdruck-Steuerabschnitt 83, einen Kraftübertragungs-Steuerabschnitt 84, einen Sensor 85 für die Bewegung in sechs Freiheitsgraden und eine Steuereinheit 86.

Jeder der Radgeschwindigkeitssensoren 73a, 73b, 73c und 73d umfaßt ein Meßzahnrad, das sich mit dem zugehörigen Rad dreht, und einen magnetischen Meßwertaufnehmer. Der magnetische Meßwertaufnehmer gibt einen dem Drehwinkel des zugehörigen Rades entsprechenden Impulszug aus. Durch die Messung des Intervalls der einzelnen Impulse im Impulszug kann die Radgeschwindigkeit an jeder Winkelposition erfaßt werden.

Jeder der Bremsmechanismen 74a, 74b, 74c und 74d beaufschlagt das entsprechende Rad mit einer Bremskraft, um das Rad und damit das Fahrzeug zu verzögern. Die Bremsmechanismen 74a, 74b, 74c und 74d sind mit Sensoren für die Erfassung des Bremsleitungsdrucks während der Betätigung der Bremse versehen.

Der Radaufhängungsmechanismus 76a enthält einen (nicht gezeigten) Stoßdämpfer mit einem (in Fig. 2 nicht gezeigten) Hubsensor 61a, der den Hub des Radaufhängungsmechanismus 76a während der Fahrt des Fahrzeugs überwacht. Die anderen Radaufhängungsmechanismen 76b, 76c und 76d enthalten ebenfalls ähnliche oder gleiche Hubsensoren. Die Radaufhängungsmechanismen erfassen somit die Roll- und Nickwinkel des Fahrzeugs. Gleichzeitig können die Radaufhängungsmechanismen Veränderungen der Aufhängungsausrichtung wie etwa den Sturzwinkel, den Spurwinkel und dergleichen erfassen.

Die gesteuerte Differentialgetriebeeinheit 77 umfaßt in der gezeigten Ausführungsform eine schlupfbegrenzende Differentialgetriebeeinheit, die eine hydraulische Mehrscheiben-Flüssigkeitskupplung enthält, mit der die maximale Drehmomentdifferenz gesteuert werden kann. Dadurch kann die Drehmomentverteilung für die Antriebsräder zwischen einem normalen, uneingeschränkten Zustand und einem Verriegelungszustand, in dem die Antriebsräder starr miteinander verbunden sind, beliebig eingestellt werden.

In Fig. 3 sind die Funktionen des Lenkwinkel-Steuerabschnittes 81, des Drosselklappenöffnungswinkel-Steuerabschnittes 82 und des Hydraulikbremsdruck-Steuerabschnittes 83 dargestellt. Jeder Steuerabschnitt empfängt vom Fahrer über das Lenkrad 78, über das Gaspedal 79 bzw. über das Bremspedal 80 Befehle. Die Steuerabschnitte leiten die Betriebsgrößen des Lenkwinkels, des Drosselklappenöffnungswinkels und des Bremsleitungsdrucks, die sich durch die jeweiligen Betätigungen durch den Fahrer ergeben, ab, und geben eine entsprechende Information an die Steuereinheit 86 aus. Gleichzeitig empfangen die Steuerabschnitte von der Steuereinheit 86 Steuerbefehle, um den Lenkmechanismus 75, den Motor 71 und die jeweiligen Bremsmechanismen 74 zu steuern.

Wenn keine Steuerbefehle von der Steuereinheit 86 vorliegen, werden der Lenkmechanismus 75, der Motor 71 und die jeweiligen Bremsen 74 direkt durch die Befehle vom Fahrer gesteuert.

In Fig. 4 ist die Anordnung der Beschleunigungssensoren im Sensor 85 für die Bewegung in sechs Freiheitsgraden gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung gezeigt. Wie in Fig. 4 gezeigt, sind an drei Befestigungsstangen 27, 28 und 29, die im wesentlichen senkrecht zueinander ausgerichtet sind und sich in einem als Ursprung dienenden Punkt S schneiden, Beschleunigungssensoren 21 bis 26 so angeordnet, daß sich jeweils zwei Beschleunigungssensoren auf einer Stange befinden. Wenn die x-, y- und z-Achsen wie gezeigt eingeführt werden, erfassen die Beschleunigungssensoren 21 und 22 auf der Befestigungsstange 27 (die sich entlang der x-Achse erstreckt) die Beschleunigung in z-Richtung, während die Beschleunigungssensoren 23 und 24 auf der Befestigungsstange 28 (die sich entlang der y-Achse erstrecken) die Beschleunigung in x-Richtung erfassen und die Beschleunigungssensoren 25 und 26 auf der Befestigungsstange 29 (die sich entlang der z-Achse erstreckt) die Beschleunigung in y-Richtung erfassen. Hierbei sind die Richtungen der von den Beschleunigungs-

sensoren 21 bis 26 zu erfassenden Beschleunigungen nicht auf die gezeigten Richtungen beschränkt, vielmehr können die Beschleunigungssensoren 21 und 22 für die Erfassung der Beschleunigung in y-Richtung, die Beschleunigungssensoren 23 und 24 für die Erfassung der Beschleunigung in z-Richtung und die Beschleunigungssensoren 25 und 26 für die Erfassung der Beschleunigung in x-Richtung oder so, daß sie jeweils die entgegengesetzten Richtungen (negative Richtungen) erfassen, angeordnet werden. Daher gibt es vier mögliche Weisen, wie die Beschleunigungssensoren angebracht werden können.

In Fig. 5 ist die Anordnung der Beschleunigungssensoren gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung gezeigt. In der gezeigten Ausführungsform sind die Beschleunigungssensoren 31 bis 36 an zwei Befestigungsstäben 37 und 38 angebracht, die senkrecht zueinander ausgerichtet sind und sich entlang zweier der drei Achsen des Koordinatensystems (in der gezeigten Ausführungsform in x-Richtung und in y-Richtung) erstrecken. In der gezeigten Darstellung ist die Befestigungsstange 37 in x-Richtung orientiert. Die Beschleunigungssensoren 35 und 36 für die Erfassung der Beschleunigung in y-Richtung und die Beschleunigungssensoren 31 und 32 für die Erfassung der Beschleunigung in z-Richtung sind an der Befestigungsstange 37 angebracht. Selbst in diesem Fall gibt es drei Weisen der Achsenwahl für die Orientierung der Anbringungsstangen 37 und 38, etwa durch Vertauschen der y-Achse mit der z-Achse. Außerdem gibt es zwei Weisen für die Anbringung der Beschleunigungssensoren an den Befestigungsstangen wie etwa die Anbringung der Beschleunigungssensoren für die z-Richtung und für die x-Richtung an der y-Richtung orientierten Befestigungsstange.

In Fig. 6 ist die Anordnung der Beschleunigungssensoren gemäß einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung gezeigt. Hierbei werden die Beschleunigungssensoren 31, 32, 35 und 36, die an der in x-Richtung orientierten Befestigungsstange angeordnet sind, durch Mehrachsen-Beschleunigungssensoren 101 und 102 ersetzt. In Fig. 6 sind die Beschleunigungssensoren 101 und 102 vom Dreiaachsen-Erfassungstyp. Im gezeigten Fall sind jedoch die in y-Richtung und z-Richtung orientierten Beschleunigungssensoren nur für die Erfassung der Beschleunigungen aktiv. Es ist ersichtlich, daß selbst in diesem Fall mehrere verschiedene Kombinationen der Orientierung der Befestigungsstangen und der Anordnung der Beschleunigungssensoren möglich sind.

Mit der in den Fig. 5 und 6 gezeigten Sensoranordnung kann nicht die lineare Bewegung in x-Richtung, sondern die Bewegung in fünf Freiheitsgraden erfaßt werden. Diese Sensoranordnungen können für ein Fahrzeugsteuersystem verwendet werden, in dem die lineare Bewegung in x-Richtung nicht berücksichtigt werden muß.

Außerdem ist es nicht immer notwendig, die Sensoren an den besonderen Befestigungsstangen, die in den Fig. 4 bis 6 gezeigt sind, anzubringen. Beispielsweise ist es möglich, die Beschleunigungssensoren direkt an der Fahrzeugkarosserie entlang der imaginären x-, y- und z-Achsen bezüglich der Fahrzeugkarosserie anzubringen.

Nun wird ein Prozeß für die Vorhersage des Fahrzeugverhaltens auf der Grundlage der erfaßten Werte der sechs Beschleunigungssensoren beschrieben. In der folgenden Beschreibung wird angenommen, daß das Fahrzeug (wenigstens die Fahrzeugkarosserie mit Ausnahme der Radaufhängung) ein starrer Körper ist. Die folgende Beschreibung wird für den Fall gegeben, daß die Beschleunigungssensoren wie in Fig. 4 dargestellt angeordnet sind.

In Fig. 7 sind vier Arten von dreidimensionalen Koordinatensystemen gezeigt, die bei der Verwirklichung des Prozesses der Vorhersage des Fahrzeugverhaltens verwendet werden. Zunächst stellt ein Koordinatensystem, das den Ursprung S und die Achsen x_1 , x_2 und x_3 besitzt, ein bewegtes Koordinatensystem dar, das zusammen mit den Sensoren (und daher mit der Fahrzeugkarosserie) bewegt wird. Entsprechend ist ein Koordinatensystem, dessen Ursprung sich im Schwerpunkt G des Fahrzeugs befindet und das drei Koordinatenachsen x, y und z besitzt, ein bewegtes Koordinatensystem, dessen Achsenrichtungen mit denen des erstgenannten bewegten Koordinatensystems übereinstimmen. Ein Koordinatensystem, dessen Ursprung sich im Punkt O befindet, der von den Punkten S und G verschieden ist, und das drei Koordinatenachsen X, Y und Z besitzt, ist ein ruhendes Koordinatensystem oder ein Bezugssystem, das gegenüber der Straßenoberfläche nicht bewegt ist. Die negative Richtung der Z-Achse ist zum Erdmittelpunkt gerichtet. Ein Koordinatensystem mit dem Ursprung im Punkt O und den drei Koordinatenachsen X_1 , X_2 und X_3 ist ein rotierendes Koordinatensystem, dessen Achsenrichtungen mit denen des ersten und des zweiten bewegten Koordinatensystems übereinstimmen. Daher besitzt das rotierende Koordinatensystem keine lineare Bewegungskomponente, sondern nur eine Rotationsbewegungskomponente.

Zunächst wird, wie in Fig. 8 gezeigt, angenommen, daß die Ortsvektoren des Ursprungs S des Koordinatensystems $x_1x_2x_3$ und der Positionen S_1 bis S_6 der Sensoren 21 bis 26 bezüglich des ruhenden Koordinatensystems XYZ durch R_1 bis R_6 und die Ortsvektoren der Positionen S_1 bis S_6 bezüglich des Koordinatensystems $x_1x_2x_3$ durch a_1 bis a_6 gegeben sind. In diesem Fall können die Geschwindigkeitsvektoren V_1 bis V_6 , die auf der Grundlage der unten angegebenen Beziehung der Ortsvektoren (Gleichung (1)) und durch Differenzieren dieser Ortsvektoren nach der Zeit erhalten werden, durch die folgenden Gleichungen ausgedrückt werden:

$$\begin{aligned} R_1 &= R_s + a_1 & R_2 &= R_s + a_2 & R_3 &= R_s + a_3 \\ R_4 &= R_s + a_4 & R_5 &= R_s + a_5 & R_6 &= R_s + a_6 \end{aligned} \quad (1)$$

und

$$\begin{aligned} V_1 &= V_s + \omega_s \times a_1 & V_2 &= V_s + \omega_s \times a_2 & V_3 &= V_s + \omega_s \times a_3 \\ V_4 &= V_s + \omega_s \times a_4 & V_5 &= V_s + \omega_s \times a_5 & V_6 &= V_s + \omega_s \times a_6 \end{aligned} \quad (2)$$

wobei ω der Winkelgeschwindigkeitsvektor des bewegten Koordinatensystems $x_1x_2x_3$ bezüglich des ruhenden Koordinatensystems XYZ ist. Das Zeichen \times stellt ein äußeres Produkt oder Kreuzprodukt dar.

Durch weiteres Differenzieren von V_1 bis V_6 nach der Zeit können aus den folgenden Gleichungen die Beschleunigungen A_s, A_1 bis A_6 an den Punkten S, S_1 bis S_6 erhalten werden:

$$A_1 = A_s + A\omega_s \times a_1 + \omega_s \times (\omega_s \times a_1)$$

$$A_2 = A_s + A\omega_s \times a_2 + \omega_s \times (\omega_s \times a_2)$$

$$A_3 = A_s + A\omega_s \times a_3 + \omega_s \times (\omega_s \times a_3)$$

$$A_4 = A_s + A\omega_s \times a_4 + \omega_s \times (\omega_s \times a_4)$$

$$A_5 = A_s + A\omega_s \times a_5 + \omega_s \times (\omega_s \times a_5)$$

$$A_6 = A_s + A\omega_s \times a_6 + \omega_s \times (\omega_s \times a_6) \quad (3)$$

wobei $A\omega_s$ der Winkelbeschleunigungsvektor des Fahrzeugs ist.

In den obigen Gleichungen (2) und (3) treten Komponenten des äußeren Produkts auf, weil die Punkte S_1 bis S_6 Rotationsbewegungskomponenten bezüglich des Punktes S enthalten. Hierbei können durch die Herleitung der Differenzen von A_1 und A_2 , von A_3 und A_4 und von A_5 und von A_6 die folgenden Gleichungen erhalten werden:

$$A_1 - A_2 = A\omega_s \times (a_1 - a_2) + [\omega_s \times (\omega_s \times a_1) - \omega_s \times (\omega_s \times a_2)]$$

$$A_3 - A_4 = A\omega_s \times (a_3 - a_4) + [\omega_s \times (\omega_s \times a_3) - \omega_s \times (\omega_s \times a_4)]$$

$$A_5 - A_6 = A\omega_s \times (a_5 - a_6) + [\omega_s \times (\omega_s \times a_5) - \omega_s \times (\omega_s \times a_6)] \quad (4)$$

Andererseits können durch Berechnen der äußeren Produkte von A_1 und a_2 , A_2 und a_1 , A_3 und a_4 , A_4 und a_3 , A_5 und a_6 und von A_6 und a_5 und durch die Herleitung der Differenzen zwischen Paaren, die den obenerwähnten Paaren analog sind, die folgenden Gleichungen erhalten werden:

$$\begin{aligned} a_2 \times A_1 - a_1 \times A_2 &= -A_s \times (a_1 - a_2) + [a_2 \times (A\omega_s \times a_1) \\ &\quad - a_1 \times (A\omega_s \times a_2)] + [a_2 \times \omega_s \times (\omega_s \times a_1) - a_1 \times \omega_s \times (\omega_s \times a_2)] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_4 \times A_3 - a_3 \times A_4 &= -A_s \times (a_3 - a_4) + [a_4 \times (A\omega_s \times a_3) \\ &\quad - a_3 \times (A\omega_s \times a_4)] + [a_4 \times \omega_s \times (\omega_s \times a_3) - a_3 \times \omega_s \times (\omega_s \times a_4)] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_6 \times A_5 - a_5 \times A_6 &= -A_s \times (a_5 - a_6) + [a_6 \times (A\omega_s \times a_5) \\ &\quad - a_5 \times (A\omega_s \times a_6)] + [a_6 \times \omega_s \times (\omega_s \times a_5) - a_5 \times \omega_s \times (\omega_s \times a_6)] \end{aligned} \quad (5)$$

Hierbei werden die Einheitsvektoren der einzelnen Achsen des Koordinatensystems $x_1x_2x_3$ mit $e_1 (1,0,0)$, $e_2 (0,1,0)$ bzw. $e_3 (0,0,1)$ bezeichnet. Dann können zwischen den Ortsvektoren a_1 bis a_6 die folgenden Beziehungsgleichungen aufgestellt werden:

$$(a_1 - a_2) = (l_1 + l_2) e_1$$

$$(a_3 - a_4) = (d_1 + d_2) e_2$$

$$(a_5 - a_6) = (h_1 + h_2) e_3 \quad (6)$$

Mit den obigen Beziehungsgleichungen und den Formeln für die Vektorrechnung können die Gleichungen (4) und (5) so umgewandelt werden, das die folgenden Gleichungen erhalten werden:

$$A_1 - A_2 = (l_1 + l_2) [A\omega_s \times e_1 - ((\omega_s \cdot e_1) \omega_s - \omega_s^2 e_1)$$

$$A_3 - A_4 = (d_1 + d_2) [A\omega_s \times e_2 - ((\omega_s \cdot e_2) \omega_s - \omega_s^2 e_2)$$

$$A_5 - A_6 = (h_1 + h_2) [A\omega_s \times e_3 - ((\omega_s \cdot e_3) \omega_s - \omega_s^2 e_3) \quad (7)$$

$$e_1 \times (l_2 A_1 + l_1 A_2) = (l_1 + l_2) e_1 \times A_s$$

$$e_2 \times (d_2 A_1 + d_1 A_2) = (d_1 + d_2) e_2 \times A_s$$

$$e_3 \times (h_2 A_1 + h_1 A_2) = (h_1 + h_2) e_3 \times A_s \quad (8)$$

5 wobei das Zeichen "·" das innere Produkt oder Skalarprodukt darstellt. Hierbei sind die Beschleunigungen A_1 bis A_6 in den Punkten S_1 bis S_6 Größen, die bezüglich des unbewegten Koordinatensystems XYZ abgeleitet werden. Diese Beschleunigungsvektoren können durch die folgenden Gleichungen auch durch Zerlegung in die zu den Achsen x_1 , x_2 und x_3 des bewegten Koordinatensystems parallelen Komponenten ausgedrückt werden:

$$\begin{aligned} 10 \quad A_1 &= A_{11}e_1 + A_{12}e_2 + A_{13}e_3 & A_2 &= A_{21}e_1 + A_{22}e_2 + A_{23}e_3 \\ A_3 &= A_{31}e_1 + A_{32}e_2 + A_{33}e_3 & A_4 &= A_{41}e_1 + A_{42}e_2 + A_{43}e_3 \\ 15 \quad A_5 &= A_{51}e_1 + A_{52}e_2 + A_{53}e_3 & A_6 &= A_{61}e_1 + A_{62}e_2 + A_{63}e_3 \end{aligned} \quad (9)$$

Hierbei stellen A_{12} , A_{22} , A_{33} , A_{43} , A_{51} und A_{61} die von den sechs Sensoren überwachten Komponenten dar.

20 Andererseits können die Komponenten A_s und $A\omega_s$ durch die folgenden Gleichungen ausgedrückt werden, indem sie in die zu den Achsen x_1 , x_2 und x_3 des bewegten Koordinatensystems parallelen Komponenten zerlegt werden:

$$\begin{aligned} A_s &= A_{s1}e_1 + A_{s2}e_2 + A_{s3}e_3 \\ 25 \quad A\omega_s &= A\omega_{s1}e_1 + A\omega_{s2}e_2 + A\omega_{s3}e_3 \end{aligned} \quad (10)$$

Daher können aus den obigen Gleichungen (7) bis (10) die jeweiligen Komponenten des linearen Beschleunigungsvektors A_s und des Winkelbeschleunigungsvektors $A\omega_s$ durch die folgenden Gleichungen ausgedrückt werden, wobei A_{12} und A_{22} und wobei A_{s3} und $A\omega_{s3}$ durch A_{33} und A_{43} gegeben sind:

$$\begin{aligned} 30 \quad A_{s1} &= \frac{h_2 \cdot A_{61} + h_1 A_{51}}{(h_1 + h_2)} \\ A_{s2} &= \frac{h_2 \cdot A_{12} + l_1 A_{22}}{(l_1 + l_2)} \\ 35 \quad A_{s3} &= \frac{d_2 \cdot A_{33} + d_1 A_{43}}{(d_1 + d_2)} \quad (11) \\ 40 \quad A\omega_{s1} &= \frac{A_{51} - A_{61}}{(h_1 + h_2)} - \omega_{s3}\omega_{s2} \\ A\omega_{s2} &= \frac{A_{12} - A_{22}}{(l_1 + l_2)} - \omega_{s1}\omega_{s3} \\ 45 \quad A\omega_{s3} &= \frac{A_{33} - A_{43}}{(d_1 + d_2)} - \omega_{s2}\omega_{s1} \end{aligned} \quad (12)$$

50 In Gleichung (12) sind für die Herleitung der Winkelbeschleunigung $A\omega_{s1}$, $A\omega_{s2}$ und $A\omega_{s3}$ die Größen ω_{s1} , ω_{s2} und ω_{s3} notwendig. Diese Werte können durch die von Zeit zu Zeit ausgeführte Integration der erhaltenen Winkelbeschleunigungen erhalten werden.

Aus den obigen Gleichungen können die zu den Achsen x_1 , x_2 und x_3 des bewegten Koordinatensystems am ausgewählten Punkt S im Fahrzeug parallelen Komponenten des linearen Beschleunigungsvektors bzw. des Winkelbeschleunigungsvektors bestimmt werden. Im allgemeinen sind die Rotationskomponenten (Winkelgeschwindigkeit und Winkelbeschleunigung) des starren Körpers in allen Punkten gleich. Daher können unter der Annahme, daß das Fahrzeug (wenigstens die Fahrzeugkarosserie mit Ausnahme der Radaufhängung) ein starrer Körper ist, die oben erhaltenen Komponenten als Winkelbeschleunigung um den Schwerpunkt des Fahrzeugs angesehen werden. Die linearen Komponenten werden jedoch an verschiedenen Punkten im Fahrzeug differenziert. Wie in Fig. 7 gezeigt, werden daher durch Aufstellen des bewegten Koordinatensystems xyz mit dem Ursprung im Schwerpunkt G des Fahrzeugs der Ortsvektor a_s vom Punkt G zum Punkt S und der Ortsvektor R_G vom Punkt O des bewegten Koordinatensystems zum Schwerpunkt G hergeleitet. Dann kann die folgende Gleichung aufgestellt werden:

$$R_s = R_G + a_s \quad (13)$$

65 Durch Differenzieren beider Seiten kann die folgende Gleichung aufgestellt werden:

$$V_s = V_G + \omega_s \times a_s \quad (14)$$

Hierbei stellt V_G den linearen Geschwindigkeitsvektor im Schwerpunkt G dar. Durch nochmaliges Differenzieren kann die folgende Gleichung erhalten werden:

$$A_s = A_G + A\omega_s \times a_s + \omega_s \times (\omega_s \times a_s) \quad (15)$$

Hierbei stellt A_G den linearen Beschleunigungsvektor im Schwerpunkt G dar. Ähnlich zu dem Prozeß für das bewegte Koordinatensystem $x_1x_2x_3$ können durch Betrachtung der Gleichung (15) der Komponentenzerlegung parallel zu den jeweiligen Achsen des bewegten Koordinatensystems xyz (die zu denjenigen des bewegten Koordinatensystems $x_1x_2x_3$ parallel sind), das seinen Ursprung im Schwerpunkt G hat, und durch die Setzung $a_s = (x_s, y_s, z_s)$ und $A_G = (A_{Gx}, A_{Gy}, A_{Gz})$ für die jeweiligen Komponenten die folgenden Gleichungen aufgestellt werden:

$$\begin{aligned} A_{Gx} &= A_{s1} - (A\omega_{s2}z_s - A\omega_{s3}y_s) - [(\omega_{s1}x_s + \omega_{s2}y_s + \omega_{s3}z_s)\omega_{s1} - \omega_s^2x_s] \\ A_{Gy} &= A_{s2} - (A\omega_{s3}x_s - A\omega_{s1}z_s) - [(\omega_{s1}x_s + \omega_{s2}y_s + \omega_{s3}z_s)\omega_{s2} - \omega_s^2y_s] \\ A_{Gz} &= A_{s3} - (A\omega_{s1}y_s - A\omega_{s2}x_s) - [(\omega_{s1}x_s + \omega_{s2}y_s + \omega_{s3}z_s)\omega_{s3} - \omega_s^2z_s] \end{aligned} \quad (16)$$

Andererseits kann der Geschwindigkeitsvektor $V_G = (V_{Gx}, V_{Gy}, V_{Gz})$ durch Integration von Gleichung (16) erhalten werden.

Nun wird das Problem betrachtet, daß bei einer Drehung des Fahrzeugs die Beschleunigungssensoren ebenfalls gedreht werden, so daß sich die Erfassungsrichtungen ändern. Wenn eine Gierbewegung um die z-Achse des Fahrzeugs erfaßt wird, indem die Richtung der z-Achse mit der Richtung der Schwerkraft zur Übereinstimmung gebracht wird, kann eine genaue Messung der Gierbewegung nicht erhalten werden, falls gleichzeitig eine Bewegung um die x-Achse (Rollbewegung) und/oder eine Bewegung um die y-Achse (Nickbewegung) auftritt, die eine Neigung des Fahrzeugs und somit eine Neigung der Erfassungsrichtungen der Sensoren verursachen. Die Winkelbeschleunigungen $A\omega_{s1}$, $A\omega_{s2}$ und $A\omega_{s3}$, die in dem obenbeschriebenen Prozeß erhalten werden, stellen die jeweiligen Komponenten im bewegten Koordinatensystem $x_1x_2x_3$ dar, während die linearen Beschleunigungen A_{s1} , A_{s2} , A_{s3} , A_{Gx} , A_{Gy} , A_{Gz} die jeweiligen Komponenten entlang den Achsen des bewegten Koordinatensystems $x_1x_2x_3$ in dem Moment darstellen, in dem die Vektoren A_s und A_G wie im ruhenden Koordinatensystem XYZ definiert gegeben sind. Wenn daher für die Gewinnung der Komponenten entlang den Achsen des ruhenden Koordinatensystems XYZ das Koordinatensystem $X_1X_2X_3$ betrachtet wird, dessen Achsenrichtungen mit denjenigen der Koordinatensysteme $x_1x_2x_3$ und xyz übereinstimmen und dessen Ursprung mit dem Punkt O übereinstimmt, und wenn die durch die obigen Prozesse erhaltenen Werte an dieses Koordinatensystem angepaßt werden, müssen die genauen Daten durch eine Transformation zwischen den Koordinatensystemen $X_1X_2X_3$ und XYZ berechnet werden.

In Fig. 9 ist ein Transformationsprozeß für die Korrektur einer beliebigen Drehung erläutert. Eine solche Transformation wird im allgemeinen als Eulerwinkel-Transformation bezeichnet. Unter der Voraussetzung, daß der Winkel zwischen der X_3 -Achse und der Z-Achse durch Θ gegeben ist (Nutationswinkel), daß der Winkel zwischen der Linie ON, die die Schnittlinie zwischen der XY-Ebene und der X_1X_2 -Ebene darstellt, und der X-Achse durch Φ gegeben ist (Nutationswinkel), daß der Winkel zwischen der Linie ON, die die Schnittlinie zwischen der XY-Ebene und der X_1X_2 -Ebene darstellt, und der X-Achse durch Φ gegeben ist (Präzessionswinkel) und der Winkel zwischen der Linie ON und der X_1 -Achse durch ψ gegeben ist (Winkel der reinen Drehung), kann die Transformation vom $X_1X_2X_3$ -Koordinatensystem in das XYZ-Koordinatensystem durch die folgende Gleichung ausgedrückt werden:

$$\begin{pmatrix} A_o \\ A\omega_o \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Omega_E & 0 \\ 0 & \Omega_E \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A_s \\ A\omega_s \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \Omega_E \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Omega_{11} & \Omega_{12} & \Omega_{13} \\ \Omega_{21} & \Omega_{22} & \Omega_{23} \\ \Omega_{31} & \Omega_{32} & \Omega_{33} \end{pmatrix} \quad (17)$$

wobei

$$\begin{aligned} \Omega_{11} &= \cos \Phi \cos \psi - \cos \Theta \sin \Phi \sin \psi, \\ \Omega_{12} &= -\cos \Phi \sin \psi - \cos \Theta \sin \Phi \cos \psi, \\ \Omega_{13} &= \sin \Theta \sin \psi, \\ \Omega_{21} &= \sin \Phi \cos \psi + \cos \Theta \cos \Phi \sin \psi, \\ \Omega_{22} &= -\sin \Phi \sin \psi + \cos \Theta \cos \Phi \cos \psi, \\ \Omega_{23} &= -\sin \Theta \cos \Phi, \\ \Omega_{31} &= \sin \Theta \sin \psi, \\ \Omega_{32} &= -\sin \Theta \cos \psi, \\ \Omega_{33} &= \cos \Theta. \end{aligned}$$

Der lineare Beschleunigungsvektor $A_o = (A_{ox}, A_{oy}, A_{oz})$ und der Winkelbeschleunigungsvektor $A\omega_o = (A\omega_{ox}, A\omega_{oy}, A\omega_{oz})$ sind jeweils Größen, die auf das ruhende Koordinatensystem XYZ bezogen sind. Hierfür können die Winkel Θ , Φ und ψ folgendermaßen erhalten werden. Wenn die Winkelgeschwindigkeitskomponenten in X_1 -, X_2 - bzw. X_3 -Richtung durch ω_{x1} , ω_{x2} und ω_{x3} gegeben sind, können die folgenden Beziehungsgleichungen aufgestellt werden:

$$\begin{aligned}\omega_{x1} &= \omega\Theta \cos \psi + \omega\Phi \sin \Theta \sin \psi \\ \omega_{x2} &= -\omega\Phi \sin \psi + \omega\Phi \sin \Theta \cos \psi\end{aligned}$$

$$\omega_{x3} = \omega\psi \cos \Theta + \omega\Phi \quad (18)$$

wobei

$$\omega\Theta = (d\Theta/dt), \omega\Phi = (d\Phi/dt), \omega\psi = (d\psi/dt).$$

Durch die Lösung der obigen Gleichung (18) kann die folgende Gleichung erhalten werden:

$$(\Theta \neq 0)$$

$$\omega\Theta = \omega_{x1} \cos \psi - \omega_{x2} \sin \psi$$

$$\omega\Theta = (\omega_{x1} \sin \psi + \omega_{x2} \cos \psi) \sin \Theta$$

$$\omega\Phi = \omega_{x3} - \omega\Phi \cos \Theta \quad (19a)$$

$$(\Theta = 0)$$

$$\omega\Theta = \omega_{x1} \cos \psi - \omega_{x2} \sin \psi$$

$$\omega + \omega\Phi = \omega_{x3} \quad (19b)$$

Für die Winkelgeschwindigkeiten gilt: $\omega_{x1} = \omega_{s1}$, $\omega_{x2} = \omega_{s2}$ und $\omega_{x3} = \omega_{s3}$. Die Werte von Θ , Φ und ψ können in Abhängigkeit davon, ob $\Theta \neq 0$ oder $\Theta = 0$ ist, durch Integration der Gleichung (19a) oder (19b) erhalten werden. Daher können sowohl die linearen Beschleunigungen und die linearen Geschwindigkeiten als auch die Winkelbeschleunigungen und die Winkelgeschwindigkeiten aus dem obigen Prozeß hergeleitet werden.

Nun werden die Kraft, die im Schwerpunkt G angreift, und das Drehmoment um die jeweiligen Achsen bestimmt. Zunächst wird festgestellt, daß bezüglich des auf das Fahrzeug wirkenden Drehmoments die aufgestellte Eulergleichung in bezug auf das bewegte Koordinatensystem xyz angewendet werden kann. Daher kann das Drehmoment durch die folgende Gleichung ausgedrückt werden:

$$N_G = \frac{dL}{dt} + (\omega_s \times L)$$

$$L = I\omega_s \quad (20)$$

Hierbei ist N_G das Drehmoment, L ist der Drehimpuls des Fahrzeugs und I ist die Trägheitsmatrix I_{ij} (Trägheitsmomente I_{ii} , Trägheitsprodukte I_{ij} ($i \neq j$)).

Durch Zerlegung der Gleichung (20) in die jeweiligen Komponenten entlang der entsprechenden Achsen und durch eine Angleichung der Indizes ij derart, daß $1 \rightarrow x$, $2 \rightarrow y$ und $3 \rightarrow z$ gilt, kann der Drehmomentvektor N_G unter Verwendung des Winkelgeschwindigkeitsvektors $\omega_s = (\omega_{s1}, \omega_{s2}, \omega_{s3})$ und des Winkelbeschleunigungsvektors $A\omega_s = (A\omega_{s1}, A\omega_{s2}, A\omega_{s3})$ folgendermaßen ausgedrückt werden:

$$N_{Gx} = (I_{xx} A\omega_{s1} + I_{xy} \dot{A}\omega_{s2} + I_{xz} A\omega_{s3}) + [\omega_{s2}(I_{xx} \omega_{s1} + I_{xy} \omega_{s2} + I_{xz} \omega_{s3}) - \omega_{s3}(I_{yx} \omega_{s1} + I_{yy} \omega_{s2} + I_{yz} \omega_{s3})]$$

$$N_{Gy} = (I_{yx} A\omega_{s1} + I_{yy} A\omega_{s2} + I_{yz} A\omega_{s3}) + [\omega_{s3}(I_{yx} \omega_{s1} + I_{yy} \omega_{s2} + I_{yz} \omega_{s3}) - \omega_{s1}(I_{zx} \omega_{s1} + I_{zy} \omega_{s2} + I_{zz} \omega_{s3})]$$

$$N_{Gz} = (I_{zx} A\omega_{s1} + I_{zy} A\omega_{s2} + I_{zz} A\omega_{s3}) + [\omega_{s1}(I_{yx} \omega_{s1} + I_{yy} \omega_{s2} + I_{yz} \omega_{s3}) - \omega_{s2}(I_{xx} \omega_{s1} + I_{xy} \omega_{s2} + I_{xz} \omega_{s3})] \quad (21)$$

Andererseits kann die am Schwerpunkt angreifende Kraft unter Verwendung des Beschleunigungsvektors $A_G = (A_{Gx}, A_{Gy}, A_{Gz})$ und der Masse M des Fahrzeugs im Schwerpunkt folgendermaßen ausgedrückt werden:

$$F_{Gx} = MA_{Gx}$$

$$F_{Gy} = MA_{Gy}$$

$$F_{Gz} = MA_{Gz} \quad (22)$$

In der obigen Beschreibung ist eine Modellgleichung angegeben worden, mit der die einzelnen der Fahrzeugbewegung zugeordneten physikalischen Größen berechnet und vorhergesagt werden können, wobei diese physikalischen Größen aus den gemessenen Werten der sechs Beschleunigungssensoren berechnet werden können. Es sollte insbesondere beachtet werden, daß für die Formulierung des Prozesses bis zur Gleichung (22) außer der Annahme, daß das Fahrzeug als bewegter Körper ein starrer Körper ist, keine weitere Annahme gemacht wurde. Das heißt, daß die obigen Gleichungen als Basisgleichungen angesehen werden können. Die Approximationen, die aufgrund der begrenzten Kapazität des Mikrocomputers für arithmetische Operationen erforderlich sind, und die Beschränkungen der Bewegung des Fahrzeugs sind als erfindungswesentlich anzusehen.

hen. Wenn das bewegte Koordinatensystem $x_1x_2x_3$ so festgelegt wird, daß die x_1 -Achse in Längsrichtung des Fahrzeugs orientiert ist, die x_2 -Achse in Querrichtung des Fahrzeugs und die x_3 -Achse in vertikaler Richtung orientiert sind und wenn angenommen wird, daß die Winkelgeschwindigkeit um die x_1 -Achse (Rollbewegungs-Winkelgeschwindigkeit) und die Winkelgeschwindigkeit um die x_2 -Achse (Nickbewegungsgeschwindigkeit) im Vergleich zur Winkelgeschwindigkeit um die x_3 -Achse (Gierbewegungs-Winkelgeschwindigkeit) hinreichend klein sind, können die obigen Gleichungen (12) folgendermaßen approximiert werden:

$$A\omega_{s1} \approx \frac{A_{51} - A_{61}}{(h_1 + h_2)}$$

$$A\omega_{s2} \approx \frac{A_{12} - A_{22}}{(l_1 + l_2)}$$

$$A\omega_{s3} \approx \frac{A_{33} - A_{43}}{(d_1 + d_2)} \quad (23)$$

Wenn in den obigen Gleichungen (17) für die Eulerwinkel-Transformation der Nutationswinkel Θ und der Winkel der reinen Drehung ψ im Vergleich zum Präzessionswinkel Φ hinreichend klein sind, können auf ähnliche Weise Approximationen wie etwa $\cos \Theta \approx 1$, $\cos \psi \approx 1$, $\sin \Theta \approx \Theta$ und $\sin \psi \approx \psi$ ausgeführt werden. Dann können die Koeffizienten der Transformationsmatrix durch die folgenden Formeln ausgedrückt werden:

$$\Omega_{11} \approx \cos \Phi - \psi (\sin \Phi)$$

$$\Omega_{12} \approx 0$$

$$\Omega_{13} \approx \Theta \cdot \psi$$

$$\Omega_{21} \approx \sin \Phi + \psi (\cos \Phi)$$

$$\Omega_{22} \approx -(\sin \Phi) \psi + (\cos \Phi)$$

$$\Omega_{23} \approx -\Theta \cos \Phi$$

$$\Omega_{31} \approx \Theta \cdot \psi$$

$$\Omega_{32} \approx -\Phi$$

$$\Omega_{33} \approx 1 \quad (24)$$

Diese Approximation der Modellgleichungen kann in Abhängigkeit vom geforderten Genauigkeitsgrad ausgeführt werden.

Sämtliche erwähnten arithmetischen Operationen können softwaremäßig im Mikrocomputer ausgeführt werden. In Fig. 10 ist der Hardwareaufbau der Steuereinheit 86 für die Ausführung der Vorhersage des Fahrzeugverhaltens gezeigt, während in den Fig. 11 bis 15 eine Reihe von Flußdiagrammen gezeigt ist, die die vom Mikrocomputer ausgeführten arithmetischen Operationen darstellen.

Der Gesamt-Hardwareaufbau enthält die Beschleunigungssensoren 21 bis 26, die wie in Fig. 4 gezeigt an den Punkten S_1 bis S_6 angeordnet sind (und alternativ wie in den Fig. 5 oder 6 gezeigt angeordnet werden können), Signalverstärker 41 bis 46 für die jeweiligen Sensoren, einen A/D-Umsetzer 47 für die Umwandlung der sechs Sensorausgaben (Analogsignale) in digitale Signale (was als Funktion des Mikrocomputers verwirklicht werden kann), einen Puffer 61 für die temporäre Speicherung der Eingangssignale und einen Mikrocomputer 48. Der Mikrocomputer 48 umfaßt eine oder mehrere CPUs 48a, eine E/A-Einheit 48b, ein ROM 48c, ein RAM 48d und andere periphere LSI-Schaltungen. In Abhängigkeit von der geforderten Rechengeschwindigkeit und der Speicherkapazität kann jeder beliebige Hardwareaufbau (beispielsweise eine Mehrzahl von Einchip-Mikrocomputern, digitale Signalprozessoren oder Parallelprozessoren, die eine Parallelverarbeitung ausführen können) verwendet werden.

Wie in den Fig. 11 bis 15 gezeigt, wird bei Einschalten des den Hauptschalter darstellenden Zündschlüssels mit dem Ziel des Beginns des Fahrbetriebs der Mikrocomputer zurückgesetzt. Dann wird ein Initialisierungsprozeß ausgeführt. Das heißt, daß im RAM 48d gespeicherte Daten wie etwa lineare Beschleunigungen, Winkelbeschleunigungen, Winkelgeschwindigkeiten und dergleichen gelöscht, d. h. auf "0" gesetzt werden. Im Ruhezustand des Fahrzeugs vor Beginn der Fahrt können die Beschleunigungssensoren 21 bis 26, die Gleichstromkomponenten erfassen können, nur die Erdbeschleunigung g feststellen. Unter der Annahme, daß die Spannungen g_1 bis g_6 (Analogsignale) über die Signalverstärker 41 bis 46 aus den Beschleunigungssensoren 21 bis 26 ausgegeben werden, werden diese Spannungen g_1 bis g_6 über den A/D-Umsetzer 47 und die E/A-Einheit 48b in den Mikrocomputer 48 eingegeben und dann zusammen mit den Sensor-Koordinatenwerten h_1 , h_2 , l_1 , l_2 , d_1 und d_2 in die CPU 48a geladen. Dann wird eine Prozedur, die für die Ausführung der arithmetischen Operation zur Lösung von Gleichung (11) programmiert ist, begonnen, um die linearen Beschleunigungen (g_{s1} , g_{s2} , g_{s3}) herzuleiten (Schritt 111). In einem Zustand, in dem das Fahrzeug in Ruhe ist, werden sowohl die Winkelbeschleunigungen als auch die Winkelgeschwindigkeiten auf dem Wert "0" gehalten, während die linearen Beschleunigungen (g_{s1} , g_{s2} , g_{s3}), die im Schritt 111 abgeleitet wurden, gleich den linearen Beschleunigungen (g_{Gx} , g_{Gy} , g_{Gz}) im Schwerpunkt werden. In diesem Zeitpunkt werden entsprechend dem auf der Eulerwinkel-Transformation der Gleichung (17) basierenden Rechenprogramm die Anfangswerte der Eulerwinkel Θ , Φ und ψ bestimmt, um einen Wert (0,0 g) im Bezugssystem XYZ herzustellen. Die Anfangswerte der Eulerwinkel werden im RAM 48d gespeichert (Schritt 112). Wenn dann das Fahrzeug zu fahren beginnt, erfassen die Beschleunigungssensoren 21 bis 26 die im Fahrzeug wirkenden Beschleunigungen. Die Signalverstärker 41 bis 46 sprechen auf die Ausgaben der Beschleunigungssensoren 21 bis 26 an, um Spannungen α_1 bis α_6 auszugeben. Diese Ausgaben werden über den A/D-Um-

setzer 47 und die E/A-Einheit 48b in den Mikrocomputer 48 eingegeben und dann zusammen mit den Sensorkoordinatenwerten $h_1, h_2, l_1, l_2, d_1, d_2$, die im ROM 48c gespeichert sind, in die CPU 48a geladen. Daraufhin wird ein Rechenprogramm, das auf den obigen Gleichungen (11) und (12) basiert, ausgeführt, um die linearen Beschleunigungen (A_{s1}, A_{s2}, A_{s3}) und die Winkelbeschleunigungen ($A\omega_{s1}, A\omega_{s2}, A\omega_{s3}$) abzuleiten. Die Ergebnisse der Berechnung werden in einem ausgewählten Bereich im RAM 48d gespeichert (Schritt 113). Danach wird die Dauer Δt des ersten Rechenzyklus (die entweder im ROM 48c gespeichert ist oder alternativ von einem internen Zeitgeber des Mikrocomputers gemessen wird) geladen, um die durch die folgenden Gleichungen ausgedrückte Berechnung auszuführen (Schritt 114):

$$\omega_{s1} = \Omega_{s1} + A\omega_{s1} \cdot \Delta t$$

$$\omega_{s2} = \Omega_{s2} + A\omega_{s2} \cdot \Delta t$$

$$\omega_{s3} = \Omega_{s3} + A\omega_{s3} \cdot \Delta t \quad (25)$$

wobei ($\omega_{s1}, \omega_{s2}, \omega_{s3}$) die abzuleitenden Winkelgeschwindigkeiten ($\Omega_{s1}, \Omega_{s2}, \Omega_{s3}$), die im vorhergehenden Rechenzyklus abgeleiteten Winkelgeschwindigkeiten und ($A\omega_{s1}, A\omega_{s2}, A\omega_{s3}$) die Winkelbeschleunigungen im momentanen Rechenzyklus sind. Die Anfangswerte dieser Größen werden jeweils auf "0" gesetzt. Die im momentanen Zyklus abgeleiteten Winkelgeschwindigkeitsdaten werden in einem ausgewählten Bereich im RAM 48d gespeichert (Schritt 113), so daß sie bei Berechnung der Gleichungen (25) zusammen mit den Winkelgeschwindigkeiten ($A\omega_{s1}, A\omega_{s2}, A\omega_{s3}$) in die CPU 48a geladen werden können.

Dann werden aus dem ROM 48c die auf den Schwerpunkt G und die Sensorposition S bezogenen Koordinatendaten x_s, y_s und z_s ausgelesen. Außerdem werden aus dem RAM 48d die linearen Beschleunigungen (A_{s1}, A_{s2}, A_{s3}) und die Winkelbeschleunigungen ($A\omega_{s1}, A\omega_{s2}, A\omega_{s3}$), die in den Schritten 113 bzw. 114 erhalten wurden, geladen, um das Rechenprogramm gemäß Gleichung (16) auszuführen, um so die linearen Beschleunigungen (AG_x, AG_y, AG_z) im Schwerpunkt abzuleiten. Die sich ergebenden linearen Beschleunigungen werden in einem ausgewählten Bereich im RAM 48d gespeichert (Schritt 115). Ähnlich wie im Schritt 114 wird die Dauer Δt des Rechenzyklus geladen, um die folgenden Berechnungen auszuführen:

$$V_{Gx} = FV_{Gx} + AG_x \cdot \Delta t$$

$$V_{Gy} = FV_{Gy} + AG_y \cdot \Delta t$$

$$V_{Gz} = FV_{Gz} + AG_z \cdot \Delta t \quad (26)$$

wobei (V_{Gx}, V_{Gy}, V_{Gz}) die zu berechnenden linearen Geschwindigkeiten sind ($FV_{Gx}, FV_{Gy}, FV_{Gz}$) die linearen Geschwindigkeiten sind, die in einem vorhergehenden Rechenzyklus abgeleitet wurden, und (AG_x, AG_y, AG_z) die linearen Beschleunigungen im momentanen Rechenzyklus sind. Die Anfangswerte dieser Größen werden auf "0" gesetzt. Die linearen Beschleunigungsdaten, die in den folgenden Rechenzyklen abgeleitet werden, werden in einem ausgewählten Bereich des RAM 48d gespeichert und in jedem Zyklus aktualisiert (Schritt 116).

Dann werden die Eulerwinkel Θ, Φ und Ψ , wie sie anfangs im Schritt 112 gesetzt wurden, und die Winkelgeschwindigkeiten ($\omega_{s1}, \omega_{s2}, \omega_{s3}$), die im Schritt 114 abgeleitet wurden, geladen, um das Rechenprogramm gemäß Gleichung (19) auszuführen, um so die Eulerwinkel Θ, Φ und Ψ und die Winkelgeschwindigkeit abzuleiten. Die Gleichungen, die in Abhängigkeit davon, daß $\Theta=0$ oder $\Theta \neq 0$ ist, zu verwenden sind, werden differenziert. Da insbesondere in dem Fall, in dem $\Theta=0$ ist, die Schnittlinie ON der XY-Ebene des Koordinatensystems XYZ mit der X_1X_2 -Ebene des Koordinatensystems $X_1Y_1Z_1$ nicht vorhanden ist, können die Winkel Φ und Ψ nicht definiert werden. Die Rechenprozedur, die hierbei verwendet wird, ist in Fig. 13 dargestellt. Zunächst wird für die Eulerwinkel Θ, Φ und Ψ des vorhergehenden Zyklus der aus dem RAM 48d geladenen Eulerwinkel Θ, Φ und Ψ festgestellt, ob $\Theta=0$ (oder ungefähr 0) oder ob $\Theta \neq 0$ ist (Schritt 117a). Wenn $\Theta \neq 0$ ist, wird das Rechenprogramm gemäß Gleichung (19a) für die Werte Θ, Φ und Ψ und für die Winkelgeschwindigkeit ($\omega_{s1}, \omega_{s2}, \omega_{s3}$) ausgeführt, um die Winkelgeschwindigkeiten der Eulerwinkel Φ, Θ, Ψ , abzuleiten (Schritt 117a₂) und um ferner die Eulerwinkel Θ, Φ , und Ψ mittels der folgenden Gleichungen abzuleiten:

$$\vartheta = \Theta + \omega_{\vartheta} \cdot \Delta t$$

$$\varphi = \Phi + \omega_{\varphi} \cdot \Delta t$$

$$\psi = \Psi + \omega_{\psi} \cdot \Delta t \quad (27)$$

wobei $\omega_{\vartheta}, \omega_{\varphi}, \omega_{\psi}$ die Winkelgeschwindigkeiten der Eulerwinkel sind und Δt die Dauer des Rechenzyklus ist.

Wenn andererseits $\Theta=0$ ist, wird gemäß Gleichung (19b) und bei Setzung von $\varphi + \psi = \xi$ das Rechenprogramm für die Ableitung von ω_{ξ} auf der Grundlage der Winkelgeschwindigkeit $\omega_{\xi} (= \omega_{\varphi} + \omega_{\psi}) = \omega_{s3}$ oder ω_{s1} oder ω_{s2} und auf der Grundlage von ψ ausgeführt (Schritt 117a₁). In diesem Fall werden anstelle von Gleichung (27) die Winkel ϑ und ξ mittels der folgenden Gleichungen abgeleitet:

$$\vartheta = \Theta + \vartheta \cdot \Delta t$$

$$\xi = \Xi + \omega_{\xi} \cdot \Delta t \quad (28)$$

wobei Ξ der Wert von ξ im vorhergehenden Zyklus ist (Schritt 117a₁).

Da sich der Wert von ϑ von Zeit zu Zeit ändert, kann er entweder $=0$ oder $\neq 0$ werden. In einem bestimmten Moment, in dem sich ϑ von $\neq 0$ nach $=0$ ändert, wird aus den Eulerwinkeln Φ und Ψ des vorhergehenden Zyklus $\Xi = \Phi + \Psi$ aufgestellt, um mittels Gleichung (28) ξ abzuleiten (Schritte 117b₂ bis 117c₂). Wenn sich umgekehrt in einem bestimmten Moment ϑ von $=0$ nach $\neq 0$ ändert, wird eine Anfangssatzung $\Phi = \Xi$ und $\Psi = 0$ ausgeführt, um über die Gleichung (19a) die Winkelgeschwindigkeiten der Eulerwinkel φ und ψ und über die Gleichung (27) die Eulerwinkel φ und ψ selbst abzuleiten (Schritte 117b₁ bis 117c₁). Dann werden die linearen Beschleunigungen (A_{gx} , A_{gy} , A_{gz}), die linearen Geschwindigkeiten (V_{gx} , V_{gy} , V_{gz}), die Winkelbeschleunigungen ($A\omega_{s1}$, $A\omega_{s2}$, $A\omega_{s3}$) und die Winkelgeschwindigkeiten (ω_{s1} , ω_{s2} , ω_{s3}) aus dem RAM 48d geladen, um ein Rechenprogramm gemäß den folgenden Gleichungen auszuführen:

$$\begin{pmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Omega_{11} & \Omega_{12} & \Omega_{13} \\ \Omega_{21} & \Omega_{22} & \Omega_{23} \\ \Omega_{31} & \Omega_{32} & \Omega_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{pmatrix} \quad (29)$$

wobei (X_1 , X_2 , X_3) die Werte der Komponenten der jeweiligen Vektoren in den Koordinatensystemen $x_1x_2x_3$ und xyz und (Y_1 , Y_2 , Y_3) die in das Koordinatensystem XYZ transformierten Werte sind. Es wird darauf hingewiesen, daß die Koeffizienten in der Matrix in Abhängigkeit davon, ob $\vartheta = 0$ oder $\vartheta \neq 0$ ist, differenziert werden müssen:

($\vartheta \neq 0$; Schritt 117d₂)

$$\begin{aligned} \Omega_{11} &= \cos \Phi \cos \psi - \cos \Theta \sin \Phi \sin \psi \\ \Omega_{12} &= -\cos \Phi \sin \psi - \cos \Theta \sin \Phi \cos \psi \\ \Omega_{13} &= \sin \Theta \sin \psi \\ \Omega_{21} &= \sin \Phi \cos \psi + \cos \Theta \cos \Phi \sin \psi \\ \Omega_{22} &= -\sin \Phi \sin \psi + \cos \Theta \cos \Phi \cos \psi \\ \Omega_{23} &= -\sin \Theta \cos \psi \\ \Omega_{31} &= \sin \Theta \sin \psi \\ \Omega_{32} &= -\sin \Theta \cos \psi \\ \Omega_{33} &= \cos \Theta \end{aligned}$$

($\vartheta = 0$; Schritt 117d₁)

$$\begin{aligned} \Omega_{11} &= \cos \xi \\ \Omega_{12} &= -\sin \xi \\ \Omega_{13} &= 0 \\ \Omega_{21} &= \sin \xi \\ \Omega_{22} &= \cos \xi \\ \Omega_{23} &= 0 \\ \Omega_{31} &= 0 \\ \Omega_{32} &= 0 \\ \Omega_{33} &= 1 \end{aligned}$$

Dann werden die linearen Beschleunigungen (A_{Ox} , A_{Oy} , A_{Oz}), die linearen Geschwindigkeiten (V_{Ox} , V_{Oy} , V_{Oz}), die Winkelbeschleunigungen ($A\omega_{O1}$, $A\omega_{O2}$, $A\omega_{O3}$) und die Winkelgeschwindigkeiten (ω_{O1} , ω_{O2} , ω_{O3}) im Schwerpunkt bezüglich des Koordinatensystems XYZ abgeleitet, um sie in einem ausgewählten Bereich im RAM 48d zu speichern.

Dann lädt der Mikrocomputer die Winkelbeschleunigungen ($A\omega_{s1}$, $A\omega_{s2}$, $A\omega_{s3}$) und die Winkelgeschwindigkeiten (ω_{s1} , ω_{s2} , ω_{s3}) aus dem RAM 48d in dieser Reihenfolge und außerdem die Trägheitsmomente I_{xx} , I_{yy} , I_{zz} und die Trägheitsprodukte I_{xy} ($=I_{yx}$), I_{yz} ($=I_{zy}$) und I_{zx} ($=I_{xz}$) aus dem ROM 48c, um das Rechenprogramm gemäß der ersten der Gleichungen (21) auszuführen, um so das um die x-Achse wirkende Drehmoment N_{Gx} abzuleiten und den sich ergebenden Wert in einem ausgewählten Bereich im RAM 48d zu speichern. Entsprechend wird das um die y-Achse wirkende Drehmoment N_{Gy} mittels der zweiten der Gleichungen (21) abgeleitet, während das um die z-Achse wirkende Drehmoment N_{Gz} mittels der dritten der Gleichungen (21) abgeleitet wird. Die jeweiligen Rechenergebnisse werden im ausgewählten Bereich im RAM 48d gespeichert. Andererseits lädt der Mikrocomputer 48 die linearen Beschleunigungen (A_{Gx} , A_{Gy} , A_{Gz}) im Schwerpunkt aus dem RAM 48d und die Masse M des Fahrzeugs aus dem ROM 48c, um die Kräfte (F_{Gx} , F_{Gy} , F_{Gz}), die in den jeweiligen Achsenrichtungen wirken, abzuleiten, indem die entsprechenden linearen Beschleunigungen mit der Masse multipliziert werden, wobei die Multiplikationsergebnisse in ausgewählten Bereichen im RAM 48d gespeichert werden (Schritt 119).

Ferner werden durch Wiederholung der Rechenprozedur im Schritt 117 die Drehmomente (N_{Ox} , N_{Oy} , N_{Oz}) und die Kräfte (F_{Ox} , F_{Oy} , F_{Oz}) bezüglich des Koordinatensystems XYZ abgeleitet. Die sich ergebenden Werte dieser Berechnungen werden in ausgewählten Bereich im RAM 48d gespeichert. Dann ist ein Rechenzyklus beendet, woraufhin zum Schritt 111 zurückgekehrt wird (Schritt 120).

Der Rechenprozeß vom Schritt 111 bis zum Schritt 120 wird vom Mikrocomputer in einem Rechenzyklus (Dauer Δt) ausgeführt. Hierbei ist es nicht notwendig, die Rechenprozesse der Schritte 111 bis 120 in dieser Reihenfolge auszuführen, vielmehr können sie in dem Fall, in dem eine Mehrzahl von CPUs vorgesehen sind, parallel ausgeführt werden.

Nun wird mit Bezug auf Fig. 16 der Gesamtaufbau des Fahrzeugsteuersystems in Übersicht gebracht. Der gezeigte Aufbau umfaßt das Fahrverhalten-Erfassungssystem 100 als Untersystem, das einen Teil des Steuersy-

stems bildet. Das heißt, daß die im Rechenprozeß der Fig. 11 bis 15 zu einem bestimmten Zeitpunkt abgeleiteten und im RAM 48d gespeicherten Daten wie etwa die Winkelbeschleunigungen ($A\omega_{s1}$, $A\omega_{s2}$, $A\omega_{s3}$) und ($A\omega_{o1}$, $A\omega_{o2}$, $A\omega_{o3}$), die Winkelgeschwindigkeiten (ω_{s1} , ω_{s2} , ω_{s3}) und (ω_{o1} , ω_{o2} , ω_{o3}), die linearen Beschleunigungen (A_{s1} , A_{s2} , A_{s3}), (AG_x , AG_y , AG_z) und (AO_x , AO_y , AO_z), die linearen Geschwindigkeiten (V_{Gx} , V_{Gy} , V_{Gz}) und (VO_x , VO_y , VO_z), die Drehmomente (NG_x , NG_y , NG_z) und (NO_x , NO_y , NO_z) und die Kräfte (FG_x , FG_y , FG_z) und (FO_x , FO_y , FO_z) vom Steuersystem der oberen Stufe als Steuerparameter wie gefordert gelesen werden.

In Fig. 16 ist eine Ausführungsform dargestellt, die ein einziges Gesamtsteuersystem für die konzentrierte oder zentrale Ausführung sämtlicher Steueroperationen enthält. Das Steuersystem kann jedoch auch so aufgebaut werden, daß eine Mehrzahl von Untersteuersystemen für die unabhängige Ausführung von voneinander verschiedenen Steueroperationen vorgesehen sind. In diesem Fall können die mittels des Fahrzeugverhalten-Erfassungssystems 100 erhaltenen Daten an ein im Fahrzeug installiertes Netzwerksystem 130 geliefert werden. Jedes Steuersystem enthält die für die Steuerung notwendigen Steuerparameter vom Netzwerk 130 auf asynchrone Weise und unabhängig von den übrigen Steuersystemen; ein solches dezentrales Steuersystem ist in Fig. 17 gezeigt.

Das oben beschriebene Verfahren für die Vorhersage des Fahrzeugverhaltens verwendet als Sensoren lediglich Beschleunigungssensoren. Im Gegensatz hierzu ist in Fig. 18 eine Ausführungsform gezeigt, in der Radgeschwindigkeitssensoren 73a, 73b, 73c und 73d für die Erfassung der Rotationsgeschwindigkeiten der jeweiligen Fahrzeugräder, Lenkwinkelsensoren 50f und 50r für die Erfassung des tatsächlichen Lenkwinkels an den Vorder- und Hinterrädern (wobei der Lenkwinkelsensor 50r nur bei einem Fahrzeug mit Vierrad-Lenksystem vorgesehen ist), Fahrzeughöhensensoren 51fr, 51fl, 51rr und 51rl für die Erfassung der Radaufhängungshöhe an den jeweiligen Fahrzeugrädern und ein Peilungssensor oder ein magnetischer Neigungssensor 52 für die Erfassung der Fahrtrichtung des Fahrzeugs durch die Erfassung des Erdmagnetfeldes zusätzlich zum Sensor 85 für die Bewegung in sechs Freiheitsgraden verwendet werden. Das Bezugszeichen 53 bezeichnet eine Differenzierschaltung. Die oben erwähnten einzelnen Sensoren sind bereits bekannt und werden in herkömmlichen Fahrzeugsteuersystemen, Navigationssystemen und dergleichen verwendet. Daher wird die Diskussion des Aufbaus dieser Sensoren und von deren Funktionsprinzipien weggelassen. Durch die Verwendung dieser Mehrzahl von verschiedenen Sensoren bei der Messung des Fahrzeugverhaltens können Steuerparameter, die für die Ausführung der Fahrzeugsteuerung wichtig sind, vorhergesagt werden.

In Fig. 20 ist ein Prozeß für die Vorhersage der Querschubwinkel β_G , β_{fl} , β_{fr} , β_{rl} , β_{rr} des Schwerpunktes G und der jeweiligen Fahrzeugräder (die hier und im folgenden durch die Indizes fl für das linke Vorderrad, fr für das rechte Vorderrad, rl für das linke Hinterrad und rr für das rechte Hinterrad unterschieden werden) unter Verwendung des Sensors 85 für die sechs Freiheitsgrade der Bewegung, der Lenkwinkelsensoren 50f und 50r und der Fahrzeughöhensensoren 51fr, 51fl, 51rr und 51rl gezeigt. Der Querschubwinkel β beeinflusst typischerweise die Fahrzeuglenkeigenschaften und kann auf der Grundlage der Geschwindigkeit V_{ad} in Fahrtrichtung oder in Längsrichtung und auf der Grundlage der Quergeschwindigkeit V_{tr} aus der folgenden Gleichung abgeleitet werden:

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{V_{tr}}{V_{ad}} \right) \quad (30)$$

Zunächst kann der Querschubwinkel β_G im Schwerpunkt G durch ein Rechenprogramm gemäß der Gleichung (30) abgeleitet werden, indem $V_{ad} = V_{Gx}$ und $V_{tr} = V_{Gy}$ gesetzt wird, wobei die im Schritt 116 des in den Fig. 11 bis 15 gezeigten Prozesses abgeleiteten Größen V_{Gx} und V_{Gy} verwendet werden, oder indem $V_{ad} = V_{Ox}$ und $V_{tr} = V_{Oy}$ gesetzt wird, wobei die im Schritt 117 abgeleiteten Größen V_{Ox} und V_{Oy} verwendet werden, wenn die x-Achse des Koordinatensystems xyz mit der Fahrtrichtung des Fahrzeugs übereinstimmt. Dann ist es für die Ableitung der Querschubwinkel an den jeweiligen Rädern notwendig, die linearen Geschwindigkeiten an diesen Rädern abzuleiten. Hierzu muß die folgende Vektorrechnung betrachtet werden.

Unter der Voraussetzung, daß der Ortsvektor vom Schwerpunkt G zum Drehzentrum eines Rades durch r_T gegeben ist, kann der lineare Geschwindigkeitsvektor V_T des Rades bei einem Winkelgeschwindigkeitsvektor ω_G der gesamten Fahrzeugkarosserie durch die folgende Gleichung ausgedrückt werden:

$$V_T = V_G + \omega_G \times r_T + V_h \quad (31)$$

wobei V_h der relative Geschwindigkeitsvektor ist, wenn die das Rad umfassende ungefederte Masse relativ zur Fahrzeugkarosserie (gefederte Masse: starrer Körper) über das Radaufhängungssystem bewegt wird. Wie in Fig. 19 gezeigt, wird hierbei angenommen, daß die Bewegung der Radaufhängung streng auf die vertikale Richtung (z-Richtung) begrenzt ist, so daß der Einfluß der Verschiebung der Radaufhängung für den Vektor r_T nur eine z-Komponente besitzt und auch der Vektor V_h nur eine z-Komponente besitzen sollte. Dann können für die Geschwindigkeitsvektoren der vier Räder folgende Gleichungen angenommen werden:

Linkes Vorderrad:

$$r_{fl} = (x_{Tfl}, y_{Tfl}, z_{Tfl} - h_{fl})$$

$$V_{Tfl} = (V_{xTfl}, V_{yTfl}, V_{zTfl} - (dh_{fl}/dt))$$

Rechtes Vorderrad:

$$\Gamma_{Tfr} = (x_{Tfr}, y_{Tfr}, z_{Tfr} - h_{fr})$$

$$V_{Tfr} = (V_{xTfr}, V_{yTfr}, V_{zTfr} - (dh_{fr}/dt))$$

Linkes Hinterrad:

$$\Gamma_{Trl} = (x_{Trl}, y_{Trl}, z_{Trl} - h_{rl})$$

$$V_{Trl} = (V_{xTrl}, V_{yTrl}, V_{zTrl} - (dh_{rl}/dt))$$

Rechtes Hinterrad:

$$\Gamma_{Trr} = (x_{Trr}, y_{Trr}, z_{Trr} - h_{rr})$$

$$V_{Trr} = (V_{xTrr}, V_{yTrr}, V_{zTrr} - (dh_{rr}/dt)) \quad (32)$$

wobei h_{fl} , h_{fr} , h_{rl} und h_{rr} den Hub der Radaufhängung am linken Vorderrad, am rechten Vorderrad, am linken Hinterrad und am rechten Hinterrad darstellen und (dh_{fl}/dt) , (dh_{fr}/dt) , (dh_{rl}/dt) und (dh_{rr}/dt) differenzierte Werte (Geschwindigkeiten) hiervon sind. Wenn diese Beziehungen in die vorhergehende Gleichung (31) eingesetzt werden, ergibt sich für die Ableitung der einzelnen Komponenten der linearen Geschwindigkeitsvektoren V_{Tfl} , V_{Trl} und V_{Trr} die folgende Gruppe von Gleichungen:

Linkes Vorderrad:

$$V_{Tfl} = (V_{Txfl}, V_{Tyfl}, V_{Tzfl})$$

$$V_{Txfl} = V_{Gx} + [\omega_{s2}(z_{Tfl} - h_{fl}) - \omega_{s3}y_{Tfl}]$$

$$V_{Tyfl} = V_{Gy} + [\omega_{s3}x_{Tfl} - \omega_{s1}(z_{Tfl} - h_{fl})]$$

$$V_{Tzfl} = V_{Gz} + [\omega_{s1}y_{Tfl} - \omega_{s2}x_{Tfl}] - (dh_{fl}/dt)$$

Rechtes Vorderrad:

$$V_{Tfr} = (V_{Txfr}, V_{Tyfr}, V_{Tzfr})$$

$$V_{Txfr} = V_{Gx} + [\omega_{s2}(z_{Tfr} - h_{fr}) - \omega_{s3}y_{Tfr}]$$

$$V_{Tyfr} = V_{Gy} + [\omega_{s3}x_{Tfr} - \omega_{s1}(z_{Tfr} - h_{fr})]$$

$$V_{Tzfr} = V_{Gz} + [\omega_{s1}y_{Tfr} - \omega_{s2}x_{Tfr}] - (dh_{fr}/dt)$$

Linkes Hinterrad:

$$V_{Trl} = (V_{Txrl}, V_{Tyrl}, V_{Tzrl})$$

$$V_{Txrl} = V_{Gx} + [\omega_{s2}(z_{Trl} - h_{rl}) - \omega_{s3}y_{Trl}]$$

$$V_{Tyrl} = V_{Gy} + [\omega_{s3}x_{Trl} - \omega_{s1}(z_{Trl} - h_{rl})]$$

$$V_{Tzrl} = V_{Gz} + [\omega_{s1}y_{Trl} - \omega_{s2}x_{Trl}] - (dh_{rl}/dt)$$

Rechtes Hinterrad:

$$V_{Trr} = (V_{Txrr}, V_{Tyrr}, V_{Tzrr})$$

$$V_{Txrr} = V_{Gx} + [\omega_{s2}(z_{Trr} - h_{rr}) - \omega_{s3}y_{Trr}]$$

$$V_{Tyrr} = V_{Gy} + [\omega_{s3}x_{Trr} - \omega_{s1}(z_{Trr} - h_{rr})]$$

$$V_{Tzrr} = V_{Gz} + [\omega_{s1}y_{Trr} - \omega_{s2}x_{Trr}] - (dh_{rr}/dt) \quad (33)$$

Wenn dann die Neigung des Fahrzeugs relativ zur Fahrbahn verhältnismäßig gering ist, kann der Querschubwinkel an den jeweiligen Rädern unter Verwendung der linearen Geschwindigkeitskomponenten in x-Richtung und in y-Richtung und der tatsächlichen Lenkwinkel λ_f und λ_r an den Vorder- und Hinterrädern durch die folgende Gleichung ausgedrückt werden:

$$\beta_{fl} = \tan^{-1} \left(\frac{V_{Tyfl}}{V_{Txfl}} \right) - \lambda_f$$

$$\beta_{fr} = \tan^{-1} \left(\frac{V_{Tyfr}}{V_{Txfr}} \right) - \lambda_r$$

$$\beta_{rl} = \tan^{-1} \left(\frac{V_{Tyrl}}{V_{Txrl}} \right) - \lambda_r$$

$$\beta_{rr} = \tan^{-1} \left(\frac{V_{Tyrr}}{V_{Txrr}} \right) - \lambda_r \quad (34)$$

wobei in dem Fall, in dem das Fahrzeug nur ein Vorderrad-Lenkssystem besitzt, λ_r stets den Wert "0" besitzt.

Nun wird unter erneutem Bezug auf Fig. 20 der Algorithmus für die Vorhersage der Querschubwinkel an den jeweiligen Rädern beschrieben. Zunächst werden zu einem bestimmten Zeitpunkt die gemessenen Werte des Sensors 85 der Bewegung in sechs Freiheitsgraden, der Lenkwinkelsensoren 50f und 50r, der Fahrzeuggeschwindigkeitssensoren 51fr, 51fl, 51rr und 51rl mittels des A/D-Umsetzers 47 (siehe Fig. 10) in digitale Signale umgewandelt und über die E/A-Einheit 48b in den Mikrocomputer eingegeben, nachdem sie im Puffer 61 temporär gespeichert wurden (Schritt 201). Hierbei werden die Ausgaben h_n , h_{fr} , h_{fl} und h_{rr} an eine Differenzierschaltung 60 einer Analogschaltung geliefert, um Ausgaben zu erzeugen, die zu den differenzierten Werten (dh_n/dt) , (dh_{fr}/dt) , (dh_{fl}/dt) und (dh_{rr}/dt) proportional sind. Diese Ausgaben der Differenzierschaltung 60 werden nach einer Umsetzung in digitale Form ebenfalls in den Mikrocomputer eingegeben. Dann wird der gemessene Wert des Sensors 85 für die Bewegung in sechs Freiheitsgraden aus dem Puffer 61 ausgelesen. Anschließend wird eine ähnliche Prozedur wie in den Rechnungen der Fig. 11 bis 15 ausgeführt, um die linearen Geschwindigkeiten (V_{Gx} , V_{Gy} , V_{Gz}) und die Winkelgeschwindigkeiten (ω_{s1} , ω_{s2} , ω_{s3}) im Schwerpunkt des Fahrzeugs abzuleiten (Schritt 202). Dann lädt der Mikrocomputer 48 die im voraus gespeicherten Koordinatenwerte (x_{Tfl} , y_{Tfl} , z_{Tfl}), (x_{Tfr} , y_{Tfr} , z_{Tfr}) und (x_{Trl} , y_{Trl} , z_{Trl}) aus dem ROM 48c, die gemessenen Werte der Fahrzeughöhensensoren 51fr, 51fl, 51rr und 51rl und die differenzierten Werte (dh_n/dt) , (dh_{fr}/dt) , (dh_{fl}/dt) und (dh_{rr}/dt) aus dem Puffer 61 und ferner die linearen Geschwindigkeiten (V_{Gx} , V_{Gy} , V_{Gz}) und die Winkelgeschwindigkeiten (ω_{s1} , ω_{s2} , ω_{s3}) aus dem RAM 48d in dieser Reihenfolge, um ein Rechenprogramm gemäß Gleichung (33) auszuführen, um die linearen Geschwindigkeiten (V_{Txfl} , V_{Tyfl} , V_{Tzfl}), (V_{Txfr} , V_{Tyfr} , V_{Tzfr}), (V_{Txrl} , V_{Tyrl} , V_{Tzrl}) und (V_{Txrr} , V_{Tyrr} , V_{Tzrr}) abzuleiten. Die Ergebnisse dieser Rechnungen werden in einem ausgewählten Bereich im RAM 48d gespeichert (Schritt 203). Schließlich werden die gemessenen Werte λ_f und λ_r aus dem Puffer 61 geladen, während die Rechenergebnisse des Schrittes 202 aus dem RAM 48d in die CPU 48a geladen werden, um ein Rechenprogramm gemäß den Gleichungen (34) auszuführen, um die Querschubwinkel β_n , β_{fr} , β_{fl} und β_{rr} abzuleiten und anschließend in einem ausgewählten Bereich im RAM 48d zu speichern. Danach ist ein Rechenzyklus beendet.

Nun wird mit Bezug auf Fig. 21 der Prozeß für die Vorhersage des Radschlupfs an jedem Rad von Zeit zu Zeit unter Verwendung der Radgeschwindigkeitssensoren 73a, 73b, 73c und 73d zusätzlich zum Sensor 85 für die Bewegung in sechs Freiheitsgraden, zu den Lenkwinkelsensoren 50f und 50r und den Fahrzeughöhensensoren 51fr, 51fl, 51rr und 51rl beschrieben. Im allgemeinen ist der Radschlupf gegeben als Verhältnis der linearen Geschwindigkeit des Rades in Fahrtrichtung zur linearen Geschwindigkeit der Fahrzeugkarosserie, die durch $U_T = r_T \cdot \omega_T$ gegeben ist, wobei angenommen wird, daß der Radius des Rades durch r_T und die Rotationsgeschwindigkeit durch ω_T gegeben sind. Ähnlich wie oben werden die einzelnen Räder durch die angehängten Indizes unterschieden. Somit wird der Radschlupf S_{Lfl} , S_{Lfr} , S_{Lrl} und S_{Lrr} aus den Radgeschwindigkeiten U_{Tfl} , U_{Tfr} , U_{Trl} bzw. U_{Trr} , die die linearen Geschwindigkeiten in Fahrtrichtung darstellen, und aus den tatsächlichen linearen Geschwindigkeiten der Fahrzeugkarosserie V_{Tfl} , V_{Tfr} , V_{Trl} bzw. V_{Trr} gemäß den folgenden Gleichungen abgeleitet:

$$S_{Lfl} = 1 - (U_{Tfl}/V_{Tfl})$$

$$S_{Lfr} = 1 - (U_{Tfr}/V_{Tfr})$$

$$S_{Lrl} = 1 - (U_{Trl}/V_{Trl})$$

$$S_{Lrr} = 1 - (U_{Trr}/V_{Trr}) \quad (35)$$

Hierbei können die tatsächlichen linearen Geschwindigkeiten der Fahrzeugkarosserie V_{Tfl} , V_{Tfr} , V_{Trl} bzw. V_{Trr} durch die xy-Komponenten der aus Gleichung (33) abgeleiteten Werte (V_{Txfl} , V_{Tyfl} , V_{Tzfl}), (V_{Txfr} , V_{Tyfr} , V_{Tzfr}), (V_{Txrl} , V_{Tyrl} , V_{Tzrl}) und (V_{Txrr} , V_{Tyrr} , V_{Tzrr}) und durch die Lenkwinkel λ_f und λ_r der Vorder- und Hinterräder durch die folgende Gleichung ausgedrückt werden:

$$V_{Tfl} = V_{Txfl} \cos \lambda_f + V_{Tyfl} \sin \lambda_f$$

$$V_{Tfr} = V_{Txfr} \cos \lambda_f + V_{Tyfr} \sin \lambda_f$$

$$V_{Trl} = V_{Txrl} \cos \lambda_r + V_{Tyrl} \sin \lambda_r$$

$$V_{Trr} = V_{Txrr} \cos \lambda_r + V_{Tyrr} \sin \lambda_r \quad (36)$$

Nun wird unter erneuter Bezugnahme auf Fig. 21 der Algorithmus für die Vorhersage des Radschlupfs an jedem Rad beschrieben. Zunächst werden die gemessenen Werte der obenerwähnten Sensoren einschließlich des Sensors 85 für die Bewegung in sechs Freiheitsgraden mittels des A/D-Umsetzers 47 in digitale Signale umgewandelt und in die E/A-Einheit 48b des Mikrocomputers eingegeben, um sie im Puffer 61 temporär zu speichern (Schritt 211). Dann werden in einer Prozedur, die den Schritten 112 und 113 in den obigen Figuren ähnlich ist, auf der Grundlage der gemessenen Werte des Sensors 85 für die Bewegung in sechs Freiheitsgraden die linearen Geschwindigkeiten (V_{Txfl} , V_{Tyfl} , V_{Tzfl}), (V_{Txfr} , V_{Tyfr} , V_{Tzfr}), (V_{Txrl} , V_{Tyrl} , V_{Tzrl}) und (V_{Txrr} , V_{Tyrr} , V_{Tzrr}) der jeweiligen Räder abgeleitet (Schritt 212). Dann wird unter Verwendung der tatsächlichen Lenkwinkel λ_f und λ_r der Vorder- und der Hinterräder von den Lenkwinkelsensoren 50f und 50r ein Rechenprogramm gemäß

Gleichung (36) ausgeführt, um die linearen Geschwindigkeiten V_{Tn} , V_{Tr} , V_{Tl} und V_{Tr} abzuleiten und im RAM 48d zu speichern. Schließlich werden aus dem Puffer 61 die gemessenen Werte ω_{Tn} , ω_{Tr} , ω_{Tl} und ω_{Tr} der Radgeschwindigkeitssensoren 73a, 73b, 73c und 73d erhalten, außerdem werden die Daten des Radius r_T des Rades aus dem RAM 48d geladen; mittels dieser Werte werden die transformierten Werte der linearen Geschwindigkeit U_{Tn} , U_{Tr} , U_{Tl} und U_{Tr} der Radgeschwindigkeiten berechnet. Danach werden erneut die linearen Geschwindigkeiten V_{Tn} , V_{Tr} , V_{Tl} und V_{Tr} geladen, um ein Rechenprogramm gemäß Gleichung (35) auszuführen, um so den Radschlupf S_{Ln} , S_{Lr} , S_{Ll} bzw. S_{Lr} abzuleiten und die sich ergebenden Werte im RAM 48d zu speichern. Danach ist der Rechenzyklus beendet (Schritt 215).

In Fig. 22 ist ein Prozeß für die Vorhersage des Abstandes und der Richtung, in die das Fahrzeug fährt, dargestellt, wobei die Werte des Sensors 85 für die Bewegung in sechs Freiheitsgraden und der Peilsensor 52 verwendet werden. Gemäß dem in den Fig. 11 bis 15 gezeigten Algorithmus können die linearen Geschwindigkeiten (V_{Ox} , V_{Oy} , V_{Oz}) im Bezugssystem XYZ auf der Grundlage der gemessenen Werte des Sensors 85 für die Bewegung in sechs Freiheitsgraden abgeleitet werden. Ähnlich zu dem oben beschriebenen Prozeß können unter Verwendung der Dauer Δt eines Rechenzyklus des Mikrocomputers die zurückgelegten Entfernungen (L_{Ox} , L_{Oy} , L_{Oz}) abgeleitet werden, indem die linearen Geschwindigkeiten (V_{Ox} , V_{Oy} , V_{Oz}) vom Anfangszeitpunkt $T=0$ aufwärts integriert werden, was durch die folgenden Gleichungen ausgedrückt werden kann:

$$L_{Ox} = FL_{Ox} + V_{Ox}\Delta t$$

$$L_{Oy} = FL_{Oy} + V_{Oy}\Delta t$$

$$L_{Oz} = FL_{Oz} + V_{Oz}\Delta t \quad (37)$$

wobei (FL_{Ox} , FL_{Oy} , FL_{Oz}) die im vorhergehenden Rechenzyklus berechneten Werte der zurückgelegten Entfernungen sind, wobei diese Werte zum Zeitpunkt $T=0$ auf den Wert "0" gesetzt worden sind. Wenn hierbei die Z-Achse des Bezugssystems XYZ in Richtung zum Erdmittelpunkt orientiert ist und wenn die zum Pol des Erdmagnetfeldes zeigende Pfeilrichtung, die vom Peilsensor 52 erfaßt wird, in der ZX-Ebene liegt, können die zurückgelegte Entfernung in sämtlichen Richtungen und die Veränderung der Höhe zwischen der gesetzten Zeit und einer gewünschten Zeit von Zeit zu Zeit berechnet werden.

Die vorliegende Erfindung ist oben im einzelnen beschrieben worden. Obwohl die vorliegende Erfindung darauf abzielt, das Verhalten des Fahrzeugs vorherzusagen, ist die Erfindung nicht auf den Algorithmus für die Vorhersage des Fahrzeugverhaltens unter Verwendung der von den Beschleunigungssensoren gemessenen Werte beschränkt. Außerdem ist die vorliegende Erfindung auf jeglichen bewegten Körper wie etwa ein Schiff, einen Zug, ein Flugzeug und dergleichen anwendbar.

Wie oben erwähnt, werden in einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung für jede Achsenrichtung wenigstens zwei Beschleunigungssensoren und daher insgesamt sechs Beschleunigungssensoren in dem den bewegten Körper darstellenden Fahrzeug verwendet, um die Beschleunigungen in Längsrichtung, in Querrichtung und in vertikaler Richtung des Fahrzeugs zu messen. Damit kann der Mikrocomputer das Fahrzeugverhalten, d. h. die linearen Geschwindigkeiten (Längsbewegung, Querbewegung und vertikale Bewegung), die Winkelbeschleunigung um eine zufällig gesetzte Koordinatenachse und die Winkelgeschwindigkeit (Rollbewegung, Nickbewegung und Gierbewegung) mittels der in internen Softwareprozessen des Mikrocomputers erstellten Modellgleichungen rechnerisch bestimmen. Ferner können durch die zusätzliche Bereitstellung der Radgeschwindigkeitssensoren, der Fahrzeughöhensensoren, der Lenkwinkelsensoren und des Peilsensors wichtige Größen für das Fahrzeugverhalten wie etwa der Querschubwinkel, der Radschlupf und dergleichen in Realzeit vorhergesagt werden. Daher kann durch die Verwendung eines Systems für die Erfassung des Fahrzeugverhaltens, das die Software enthält, mit der das erfindungsgemäße Fahrzeugverhalten-Vorhersageverfahren verwirklicht wird, als Untersystem und durch die Kombination dieses Untersystems mit dem aktiven Steuersystem der oberen Stufe, das etwa ein Antiblockiersystem, eine Traktionssteuerung, eine Vierradantriebssteuerung, eine Vierradlenkungssteuerung, eine aktive Radaufhängungssteuerung und dergleichen als Teile enthält, ein genaueres Fahrzeugsteuersystem aufgebaut werden.

Ferner kann durch eine Kombination mit dem Peilsensor ein System aufgebaut werden, mit dem die zurückgelegte Entfernung des Fahrzeugs und/oder die Höhenänderung gemessen werden können und das mit dem System höherer Stufe wie etwa einem Navigationssystem, einem Verkehrsinformations-Kommunikationssystem und dergleichen verbunden werden kann, so daß es möglich ist, ein qualitativ hochwertiges Fahrerunterstützungssystem aufzubauen, mit dem eine Verkehrsleitfunktion des Fahrzeugs ausgeführt werden kann.

Nun wird eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Steuersystems für das Fahrzeugverhalten beschrieben, mit dem die dritte Aufgabe der vorliegenden Erfindung gelöst wird. Die gezeigte Ausführungsform des Steuersystems spricht auf Fahrzeugzustände jenseits der normalen Steuerungskriterien wie etwa einem Schleudervorgang, einem Rutschvorgang, einem Rutschnot und dergleichen an, um entsprechend einem Standardmodell-Ansprechverhalten eine Steuerung auszuführen, die derjenigen eines geübten Fahrers äquivalent ist, so daß der Fahrzustand in die Kriterien aufgenommen werden kann.

In Fig. 23 ist ein Blockschaltbild einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Steuersystems für das Fahrzeugverhalten gezeigt. In dieser Figur bezeichnet das Bezugszeichen 231 eine Einrichtung für die Erfassung der Betriebsgrößen für die Steuerung des Lenksystems, des Motors, der Kraftübertragung und des Radaufhängungssystems des Kraftfahrzeugs 1. Das Bezugszeichen 232 bezeichnet eine Einrichtung für die Erfassung einer Steuergröße einer Antriebseinrichtung (Betätigungselement) zur Steuerung des Lenksystems, des Motors, der Kraftübertragung und des Radaufhängungssystems des Kraftfahrzeugs 1. Das Bezugszeichen 233 bezeichnet eine Einrichtung für die Erfassung der Größen, die mit dem Fahrverhalten des Kraftfahrzeugs 1 in den drei

Raumrichtungen verbunden sind. Das Bezugszeichen 234 bezeichnet ein Standardmodell, das für ein Standardfahrzeug mit einer Referenz-Ansprechcharakteristik erstellt worden ist. Das Bezugszeichen 235 bezeichnet ein Fahrzeugverhalten-Vorhersagemodell, das durch die modellierte Ansprechcharakteristik des tatsächlich zu steuernden Fahrzeugs aufgestellt wird. Das Bezugszeichen 236 bezeichnet eine Vergleichseinrichtung für den Vergleich des Wertes derjenigen Größe, die dem unter Verwendung des Standardmodells 234 vorhergesagten Fahrzeugverhalten zugeordnet ist, mit dem Wert der unter Verwendung des Fahrzeugverhalten-Vorhersagemodells vorhergesagten Größe, um eine Differenz der Vorhersagewerte zu erfassen. Das Bezugszeichen 237 bezeichnet eine Vergleichseinrichtung für den Vergleich der Ausgabe der Einrichtung 233 für die Erfassung der dem Fahrzeugverhalten zugeordneten Größe mit dem Vorhersagewert des Standardmodells 234, um eine Differenz zwischen diesen Werten zu erfassen. Das Bezugszeichen 238 bezeichnet eine Steuereinheit, die die Vergleichsergebnisse der Vergleichseinrichtungen 236 und 237 empfängt und auf eine Differenz zwischen dem Vorhersagewert des Standardmodells 234 und dem Vorhersagewert des Fahrzeugverhalten-Vorhersagemodells 237 anspricht, um zu beurteilen, ob der Fahrzustand jeweils den normalen Steuerungskriterien genügt, um so die Steuergröße der Antriebseinrichtung einzustellen, um die Differenz zwischen dem Vorhersagewert des Standardmodells und dem Wert, der die dem tatsächlichen Fahrzeugverhalten zugeordnete Größe darstellt, zu verringern.

Das Standardmodell 234 und das Fahrzeugverhalten-Vorhersagemodell 235 verwenden beide die erfaßten Betriebsgrößen, die Steuergrößen und die mit dem Fahrzeugverhalten verbundenen Größen als Eingaben. Das Standardmodell 234 ist eine Art von Simulationsmodell des Fahrzeugs mit einer Betriebscharakteristik und einer Ansprechcharakteristik, die einer bestimmten Bedienung durch einen geübten Fahrer entspricht. Das Standardmodell 234 wird im voraus im Speicher gespeichert. Das Standardmodell ist nicht notwendig auf ein einziges Modell beschränkt, sondern kann in einer Mehrzahl vorliegen, so daß der Fahrer das gewünschte Modell wählen kann. Das Fahrzeugverhalten-Vorhersagemodell 235 ist ebenfalls ein Simulationsmodell, das durch eine im voraus ausgeführte Messung der Ansprechcharakteristik für die Steuerung des tatsächlich zu steuernden Fahrzeugs aufgestellt wird. Das Fahrzeugverhalten-Vorhersagemodell 235 wird ebenfalls im Speicher gespeichert.

Die Einrichtung für die Erfassung der Betriebsgrößen kann den Lenkwinkel eines Lenkrades, den Bremsdruck, den Drosselklappenöffnungswinkel des Motors und die Schaltposition der Kraftübertragung erfassen.

Die Antriebseinrichtung kann eine Lenkwinkel-Steuereinrichtung 81, eine Hydraulikbremsdruck-Steuereinrichtung 83, eine Drosselklappenöffnungswinkel-Steuereinrichtung 82, eine Kraftübertragungs-Steuereinrichtung 84, eine Differentialgetriebe-Steuereinrichtung und dergleichen enthalten.

Die Einrichtung 233 für die Erfassung der mit dem Fahrzeugverhalten verbundenen Größe enthält den Sensor 85 für die Bewegung in sechs Freiheitsgraden und kann die Veränderungsrate der Fahrzeuglängsbeschleunigung, die Fahrzeuglängsbeschleunigung und die Fahrzeuglängsgeschwindigkeit, die Veränderungsrate der Querbewegung, die Querbewegung und die Quergeschwindigkeit des Fahrzeugs, die Veränderungsrate der vertikalen Beschleunigung, die vertikale Beschleunigung und die vertikale Geschwindigkeit des Fahrzeugs, die Veränderungsrate der Winkelbeschleunigung, die Winkelbeschleunigung, die Winkelgeschwindigkeit und den Winkel der Rollbewegung des Fahrzeugs, die Veränderungsrate der Winkelbeschleunigung, die Winkelbeschleunigung, die Winkelgeschwindigkeit und den Winkel der Gierbewegung des Fahrzeugs und dergleichen erfassen.

Im folgenden wird eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung beschrieben, die in einem Fahrzeug verwendet wird, bei dem die beiden Vorderräder gelenkt werden, das einen Frontmotor und einen Heckantrieb mit einer entsprechenden, eventuell automatischen Kraftübertragung besitzt. Da der Grundaufbau ähnlich demjenigen von Fig. 2 ist, werden die in Fig. 2 dargestellten Abschnitte nicht erneut beschrieben.

In Fig. 24 ist der Aufbau des Lenkwinkel-Steuerabschnitts 81 gezeigt. Der Lenkwinkel-Steuerabschnitt 81 umfaßt einen Kodierer 311 für den tatsächlichen Lenkwinkel, um den tatsächlichen Lenkwinkel zu erfassen, ein Getriebe 312 für die Verringerung der Umdrehung eines Lenkmotors, eine Mehrscheiben-Flüssigkeitskupplung 314, ein Getriebe für die Verringerung der Umdrehung eines Lenkgefühl-Korrekturmotors 315, einen Dekodierer 317 für den Lenkbetätigungswinkel, um den vom Fahrer eingestellten Lenkwinkel zu erfassen, einen Steuerabschnitt 318 für den tatsächlichen Lenkwinkel und einen Lenkgefühl-Korrekturabschnitt 319. Nun wird die Funktion des Lenkwinkel-Steuerabschnittes 81 beschrieben. Wenn der Fahrer mittels eines Lenkrades 78 einen Lenkvorgang ausführt, wird die Betriebsgröße des Lenkrades vom Dekodierer 317 für den Lenkwinkel erfaßt und in eine Steuereinheit 300 eingegeben. Die Steuereinheit 300 kombiniert die Lenkwinkel-Betriebsgröße mit verschiedenen Informationen, um einen Lenkwinkelbefehl für den Steuerabschnitt 318 des tatsächlichen Lenkwinkels auszugeben. Der Lenkmotor 313 ist etwa von der Bauart eines Servomotors, der einen Elektromotor umfaßt und so arbeitet, daß er den erfaßten Wert des Dekodierers des tatsächlichen Lenkwinkels auf den Lenkwinkelbefehl der Steuereinheit 300 einstellt. Der Lenkmechanismus 75 umfaßt ein Zahnstangengetriebe, mit dem der Spurlenkwinkel der steuerbaren Vorderräder durch die Drehung einer Lenksäule geändert werden kann. Der Steuerabschnitt 318 für den tatsächlichen Lenkwinkel umfaßt einen Leistungstransistor 1181 für die Steuerung des Stroms und einen Sensor 1182 für die Erfassung des tatsächlichen Lenkstroms. Im allgemeinen ist das Ausgangsdrehmoment des Motors (Elektromotor) proportional zum Eingangsstrom. Hierbei kann durch die Erfassung des von einer Batterie 320 in den Lenkmotor 313 eingegebenen Stroms durch den Sensor 1182 für den tatsächlichen Lenkstrom das notwendige Drehmoment für die Einstellung des tatsächlichen Lenkwinkels, derart, daß dieser mit dem Lenkbefehl übereinstimmt — d. h. die Reaktionskraft auf der Straßenoberfläche — erfaßt werden. Die Steuereinheit 300 führt mittels des Lenkgefühl-Korrekturabschnittes 319 über das Lenkrad 78 eine Rückkopplung des Lenkgefühls für den Fahrer aus, indem der Lenkgefühl-Korrekturabschnitt 315 in Abhängigkeit von der erfaßten Reaktionskraft von der Straßenoberfläche betätigt wird. Andererseits umfaßt der Lenkwinkel-Steuerabschnitt 81 eine Mehrscheiben-Flüssigkeitskupplung 314. Die Kupplung spricht auf den Ausfall

der jeweiligen Motoren an, um eine direkte Verbindung zwischen der Lenksäule und dem Lenkmechanismus 75 herzustellen, um so eine manuelle Betätigung des Lenkmechanismus direkt über das Lenkrad 78 zu ermöglichen. Angesichts dieser Tatsache müssen die Übersetzungsverhältnisse der Getriebe 312 und 316 so gewählt werden, daß sie dem Fahrer eine manuelle Ausführung der Lenkoperation ermöglichen, ohne daß eine zu große Hilfskraft erforderlich ist.

In Fig. 25 ist der Drosselklappenöffnungswinkel-Steuerabschnitt 82 gezeigt. In Fig. 26 ist der in dem Aufbau von Fig. 25 verwendete Differentialmechanismus gezeigt. Ein mit dem Gaspedal 79 verbundener Draht 420 ist wie in Fig. 26 gezeigt am Differentialmechanismus 422 befestigt. Wenn das Gaspedal 79 niedergedrückt wird und wenn der Servomotor 422 im Ruhezustand ist, dreht sich die Drosselklappe 421 zusammen mit dem Differentialmechanismus 422, um eine Bewegung ähnlich wie in einem normalen Drosselklappenbau auszuführen. Der Drosselklappenöffnungswinkel wird mittels eines Drosselklappenpositions-Sensors 423 erfaßt und in die Steuereinheit 300 eingegeben. Nun wird der Fall beschrieben, in dem der Servomotor 424 mit einer Drehung beginnt. Wenn das Gaspedal 79 in einer konstanten Stellung verbleibt und der Servomotor 424 entgegen dem Uhrzeigersinn angetrieben wird, wird die Drosselklappe 421 von einer Mehrzahl von Kegelrädern umfassenden Differentialmechanismus angetrieben, um sich in Richtung des Uhrzeigersinns (entgegen der Motorantriebsrichtung) zu drehen. Wenn andererseits der Servomotor 424 im Uhrzeigersinn angetrieben wird, wird die Drosselklappe 421 entgegen dem Uhrzeigersinn gedreht. Folglich kann der Drosselklappenöffnungswinkel unabhängig von der Betätigung des Gaspedals durch den Fahrer gesteuert werden. Die Steuereinheit 300 kombiniert den vom Drosselklappenpositions-Sensor 423 erfaßten Drosselklappenöffnungswinkel mit verschiedenen Informationen, um mittels des Servomotors 424 eine direkte Steuerung des Drosselklappenöffnungswinkels auszuführen. Wenn der Servomotor andererseits ausfällt, kann ein normaler Fahrbetrieb aufrechterhalten werden, da die Drosselklappe 421 durch das Gaspedal 79 betätigt werden kann.

In Fig. 27 ist ein Hydraulikbremsdruck-Steuerabschnitt 83 für ein einzelnes Rad gezeigt. Der Hydraulikbremsdruck-Steuerabschnitt 83 umfaßt ein Bremspedal 80, einen mit einem Gelenkmechanismus gekoppelten Servomotor 432, einen Hauptbremszylinder 433, einen Hauptbremszylinder-Drucksensor 434, ein Bremsdruck-Steuerventil 435 und einen Radbremsdruck-Sensor 436. Der Gelenkmechanismus 431 ist so aufgebaut, daß er die Übertragung des Eingangswertes vom Bremspedal und vom Servomotor 432 an den Hauptbremszylinder, nicht jedoch die Eingangsgröße vom Servomotor 432 an das Bremspedal überträgt. Die Steuereinheit 300 macht auf der Grundlage der Ausgabe vom Hauptbremszylinder-Drucksensor 434 eine Vorhersage für das vom Fahrer geforderte Ausmaß der Verzögerung. Obwohl die gezeigte Ausführungsform so aufgebaut ist, daß der Beschleunigungsbefehl über den durch ein Niederdrücken des Bremspedals durch den Fahrer im Hauptbremszylinder erzeugten Hydraulikdruck vorhergesagt wird, ist es auch möglich, das geforderte Ausmaß der Verzögerung durch die Schaffung eines Bremspedals-Positionssensors für das Bremspedal und durch die Erfassung der Verschiebung des Bremspedals vorherzusagen. In der Steuereinheit 300 wird eine Vielzahl von Informationen mit dem Verzögerungsbefehl des Fahrers kombiniert, um den notwendigen Bremsdruck-Steuerbefehl für die Erzeugung des vorhergesagten Ausmaßes der Verzögerung herzustellen. Der Bremsdruck-Steuerbefehl wird unabhängig für jedes Rad hergeleitet. Dann steuert die Steuereinheit 300 den Bremsdruck an jedem Rad so, daß der vom Radbremsdruck-Sensor erfaßte Bremsdruck diesem Befehl folgt. Selbst wenn der Fahrer das Bremspedal nicht niederdrückt und die Steuereinheit 300 feststellt, daß in einer Situation, in der das Fahrzeug mit zu hoher Geschwindigkeit in eine Kurve eintritt, eine Bremskraft erforderlich ist, wird der Servomotor 32 betätigt, um über den Gelenkmechanismus an den Hauptbremszylinder 432 eine Betätigungskraft zu übertragen, um das Fahrzeug in einen Zustand zu versetzen, der zu demjenigen Zustand äquivalent ist, in dem der Fahrer das Bremspedal 80 niederdrückt.

In Fig. 28 ist der Sensor 85 für die Bewegung in sechs Freiheitsgraden genauer gezeigt. Dieser Sensor 85 für die Bewegung in sechs Freiheitsgraden besitzt einen Aufbau, der dem in den Fig. 4 bis 6 beschriebenen Aufbau ähnlich ist und sechs Beschleunigungssensoren 21 bis 26 umfaßt, die wie in Fig. 4 gezeigt in einem bezüglich des Fahrzeugs festen Koordinatensystem so angeordnet sind, daß die x-Achse in Längsrichtung, die y-Achse in Querrichtung und die z-Achse in vertikaler Richtung angeordnet sind. Ferner umfaßt der Sensor 85 einen Multiplizierer 452, eine Wandlerschaltung 453, zweistufige Integrationsschaltungen 454 und 455 und eine Differenzierschaltung 456. Wie allgemein bekannt, umfassen die Freiheitsgrade der Fahrzeugbewegung zusätzlich zu der linearen Bewegung in x-Richtung, y-Richtung und z-Richtung die Drehbewegung um die x-Achse (Rollbewegung), die Drehbewegung um die y-Achse (Nickbewegung) und die Drehbewegung um die z-Achse (Gierbewegung). Diese Bewegung treten gleichzeitig auf und ergeben ein zusammengesetztes Fahrzeugverhalten. Daher enthält die von den Beschleunigungssensoren praktisch gemessene Information alle Bewegungskomponenten in den sechs Freiheitsgraden. Wenn also die Beschleunigung und die Geschwindigkeit in x-Richtung mit a_x und v_x , die Beschleunigung und die Geschwindigkeit in y-Richtung mit a_y bzw. v_y und die Beschleunigung und die Geschwindigkeit in z-Richtung mit a_z bzw. v_z , die Winkelbeschleunigung und die Winkelgeschwindigkeit um die x-Achse (Rollbewegung) mit α_x bzw. ω_x , die Winkelbeschleunigung und die Winkelgeschwindigkeit um die y-Achse (Nickbewegung) mit α_y bzw. ω_y und die Winkelbeschleunigung und die Winkelgeschwindigkeit um die z-Achse mit α_z bzw. ω_z und die von den sechs Beschleunigungssensoren 21 bis 26 erfaßten Werte mit G_a , G_b , G_c , G_d , G_e und G_f bezeichnet werden, kann zwischen der Beschleunigung a_x in x-Richtung und der Winkelbeschleunigung α_y um die y-Achse (Nickbewegung) folgende Beziehung aufgestellt werden:

$$a_x = \frac{l_b \cdot G_a + l_a \cdot G_b}{l_a + l_b} \quad (38)$$

$$\alpha_y = \frac{G_a - G_b}{l_a - l_b} - \int \alpha_x dt \cdot \int \alpha_y dt = \frac{G_a - G_b}{l_a - l_b} - \omega_z \omega_y \quad (39)$$

Bei dem gezeigten Aufbau des Sensors 85 für die Bewegung in sechs Freiheitsgraden wird die obenerwähnte Berechnung durch den Multiplizierer 452, die Wandlerschaltung 453 und die Integrationsschaltung 454 ermöglicht. Die Ausgabe der Integrationsschaltung 454 stellt die Geschwindigkeits- und die Winkelgeschwindigkeitsinformation dar. Andererseits stellt die Ausgabe der Integrationsschaltung 455 die Positionsinformation dar. Die Ausgabe der Differenzierschaltung 456 stellt die Information bezüglich der Veränderungsrate der Beschleunigung dar. Diese Informationen werden in die Steuereinheit 300 eingegeben. Die Steuereinheit 300 verwendet diese Informationen dazu, den Zustand des Fahrzeugverhaltens zu erfassen, um durch die Lösung bestimmter Bewegungsgleichungen für das spezielle Fahrzeug ein zukünftiges Fahrzeugverhalten vorherzusagen, indem es den erfaßten Zustand des Fahrzeugverhaltens mit der Fahrbetriebsinformation wie etwa dem vom Fahrer eingestellten Lenkwinkel, dem Drosselklappenöffnungswinkel, dem Hydraulikbremsdruck und dergleichen kombiniert. Außerdem kann die Steuereinheit 300 durch die Lösung bestimmter Bewegungsgleichungen des Soll-Fahrzeugs (Standardfahrzeug) das Verhalten des Standardfahrzeugs vorhersagen, um so der Steuerung für ein solches Fahrzeug zu folgen.

In Fig. 29 ist die Bahn und der Lenkwinkel eines Fahrzeugs gezeigt, das mit zu hoher Geschwindigkeit eine Kurvenfahrt ausführt, wodurch eine schnelle Veränderung des Fahrzeugverhaltens und daher ein Schleudern verursacht wird. In Fig. 30 ist die Bahn und der Lenkwinkel des Fahrzeugs gezeigt, das um dieselbe Kurve wie in Fig. 29 mit hoher Geschwindigkeit fährt, wobei einerseits eine schnelle Veränderung des Fahrzeugverhaltens verursacht wird, andererseits jedoch ein Schleudern durch Gegensteuern verhindert wird. In den Fig. 29 und 30 sind die Zustände (a) und (b) miteinander identisch. In Fig. 31 ist das dynamische Gleichgewicht im zweidimensionalen Raum dargestellt, wenn das Fahrzeug eine Kurvenfahrt ohne seitliches Rutschen ausführt, während in Fig. 32 das dynamische Gleichgewicht im zweidimensionalen Raum dargestellt ist, wenn das Fahrzeug eine Kurvenfahrt mit seitlichem Rutschen ausführt; in Fig. 33 ist ein dynamisches Gleichgewicht im zweidimensionalen Raum dargestellt, wenn in dem eine Kurvenfahrt ausführenden Fahrzeug gegengesteuert wird.

Auf das Fahrzeug 1 wirken die Seitenführungskräfte C_n , C_{fr} , C_{rl} und C_{rr} , die am linken und am rechten Vorderrad bzw. am linken und am rechten Hinterrad entstehen, die Antriebskräfte F_{al} und F_{ar} , die auf das linke und das rechte Hinterrad wirken und entsprechend der Vergrößerung des Drosselklappenöffnungswinkels zunehmen und die Bremskräfte F_{bl} , F_{br} , F_{rl} und F_{rr} , die auf die linken und rechten Vorderräder bzw. auf die linken und rechten Hinterräder wirken. Mit diesen Kräften wird zwischen der linearen Bewegung in y-Richtung und der Drehbewegung um die z-Achse ein Ausgleich hergestellt. Wenn angenommen wird, daß das Fahrzeug mit konstanter Geschwindigkeit V um die Kurve fährt, das Fahrzeuggewicht durch m, das Trägheitsmoment um den Schwerpunkt durch I, die effektive Länge vom Schwerpunkt des Fahrzeugs zu den Vorderrädern durch l_v , die effektive Länge vom Schwerpunkt des Fahrzeugs zu den Hinterrädern durch l_r , die Vorderrad-Spurweite durch l_{fl} , die Hinterrad-Spurweite durch l_{rl} , der Querschubwinkel im Schwerpunkt des Fahrzeugs durch β ($=V_y/V_x$) und der Lenkwinkel durch δ gegeben sind, kann die Bewegung in diesem Zustand folgendermaßen ausgedrückt werden:

y-Richtung

$$mV \cdot \left[\frac{d\beta}{dt} + \omega_z \right] = C_n + C_{fr} [F_{bn} + F_{br}] \sin \delta + C_{rl} + C_{rr} \quad (40)$$

z-Richtung

$$I \cdot \frac{d\omega_z}{dt} = l_r \{ [C_n + C_{fr}] - [F_{bn} + F_{br}] \} \sin \delta - \frac{1}{2} l_n \{ [-F_{br}] - [-F_{bn}] \} \cos \delta - l_r (C_{rl} + C_{rr}) - \frac{1}{2} l_n \{ [F_{ar} + F_{br}] - [F_{al} + F_{bn}] \} \quad (41)$$

Die Seitenführungskraft wird durch den Querschubwinkel in bezug auf die Fahrtrichtung (Richtung der Geschwindigkeit V) des Fahrzeugs bestimmt. An den Vorderrädern werden die Kurvenkräfte vom Fahrer durch den Lenkwinkel eingestellt. Unter der Annahme, daß die Kurvenkräfte auf das linke und das rechte Vorderrad durch K_n bzw. K_r und die Kurvenkräfte auf das linke und das rechte Hinterrad durch K_{rl} bzw. K_{rr} gegeben sind, können die entsprechenden Seitenführungskräfte folgendermaßen ausgedrückt werden:

$$C_{\ell} = -K_{\ell} \cdot \beta_{\ell} = -K_{\ell} \left[\beta + l_{\ell} \cdot \frac{\omega_z}{V} - \delta \right] \quad (42)$$

$$C_{r\ell} = -K_{r\ell} \cdot \beta_{r\ell} = -K_{r\ell} \left[\beta + l_{\ell} \cdot \frac{\omega_z}{V} - \delta \right] \quad (43)$$

$$C_{\ell} = -K_{\ell} \cdot \beta_{\ell} = -K_{\ell} \left[\beta - l_{\ell} \cdot \frac{\omega_z}{V} \right] \quad (44)$$

$$C_{r\ell} = -K_{r\ell} \cdot \beta_{r\ell} = -K_{r\ell} \left[\beta - l_{\ell} \cdot \frac{\omega_z}{V} \right] \quad (45)$$

wobei β_{ℓ} , $\beta_{r\ell}$, β_{rl} und β_{rr} die Querschubwinkel am linken bzw. am rechten Vorderrad und am linken bzw. am rechten Hinterrad sind. Hierbei wird zur Vereinfachung der Darstellung angenommen, daß die Querschubwinkel an den beiden Vorderrädern und die Querschubwinkel an den beiden Hinterrädern jeweils gleich sind.

Die Brems- und Antriebskräfte werden vom Fahrer durch das Bremspedal bzw. durch das Gaspedal gesteuert. Wie wohl bekannt ist, wird die Summe der Absolutwerte der vom Reifen in einer kritischen Fahr situation erzeugten maximalen Seitenführungskräfte und der Brems- und Antriebskräfte solange konstant gehalten, wie der Reibungskoeffizient zwischen der Straßenoberfläche und diesem Reifen nicht geändert wird. Dieser konstante Wert am linken und am rechten Vorderrad wird mit F_l bzw. F_r bezeichnet, während dieser konstante Wert am linken und am rechten Hinterrad mit R_l bzw. R_r bezeichnet wird; damit können für den kritischen Fahrzu stand die folgenden Gleichungen aufgestellt werden:

$$F_l^2 = C_{\ell}^2 + F_{b\ell}^2 \quad (46)$$

$$|C_{\ell}| = \sqrt{F_l^2 - F_{b\ell}^2} \quad (47)$$

$$F_r^2 = C_{r\ell}^2 + F_{b\ell}^2 \quad (48)$$

$$|C_{r\ell}| = \sqrt{F_r^2 - F_{b\ell}^2} \quad (49)$$

$$R_l^2 = C_{rl}^2 + (F_{arl} - F_{brl})^2 \quad (50)$$

$$|C_{rl}| = \sqrt{R_l^2 - (F_{arl} - F_{brl})^2} \quad (51)$$

$$R_r^2 = C_{rr}^2 + (F_{arr} - F_{brr})^2 \quad (52)$$

$$|C_{rr}| = \sqrt{R_r^2 - (F_{arr} - F_{brr})^2} \quad (53)$$

In Fig. 31 stimmen die Fahrtrichtung (Richtung der Geschwindigkeit V) des Fahrzeugs und die Richtung der x-Achse miteinander überein. In diesem Zustand besitzt das Fahrzeug keine Geschwindigkeitskomponente V_y in y-Richtung, d. h., es ist $\beta = 0$. In Fig. 32 ist der Zustand gezeigt, in dem $\beta < 0$ ist. Der Grund, warum die Hinterräder zu einem Ausbrechen in Richtung der kurvenäußeren Seite neigen, besteht darin, daß aufgrund der Abwesenheit eines Lenkmechanismus an den Hinterrädern dort ein der Zentrifugalkraft entsprechender Querschubwinkel auftritt. Wenn in diesem Zustand der Absolutwert der Brems- und Antriebskräfte durch Niederdrücken des Gaspedals oder durch Betätigen der Bremsen erhöht wird, befinden sich die Hinterräder in einem Zustand jenseits des kritischen Zustands. Die Bewegungsgleichungen für die lineare Bewegung in y-Richtung und die Drehbewegung um die z-Achse sind folgendermaßen gegeben:

$$mV \left(\frac{d\beta}{dt} + \omega_z \right) = -(K_{\ell} + K_{r\ell}) \left(\beta + l_{\ell} \frac{\omega_z}{V} - \delta \right) - (F_{b\ell} + F_{b\ell}) \sin \delta + \sqrt{R_l^2 - (F_{arl} - F_{brl})^2} + \sqrt{R_r^2 - (F_{arr} - F_{brr})^2} \quad (54)$$

$$\begin{aligned} I \frac{d\omega_z}{dt} = & -l_{\ell} (K_{\ell} + K_{r\ell}) \left(\beta + l_{\ell} \frac{\omega_z}{V} - \delta \right) - l_{\ell} (F_{b\ell} - F_{b\ell}) \sin \delta \\ & - \frac{1}{2} l_{\ell} [(-F_{b\ell}) - (-F_{b\ell})] \cos \delta - l_{r\ell} \sqrt{R_l^2 - (F_{arl} - F_{brl})^2} \\ & - l_{rr} \sqrt{R_r^2 - (F_{arr} - F_{brr})^2} + \frac{1}{2} l_{rr} [(F_{arr} - F_{brr}) - (F_{arl} - F_{brl})] \end{aligned} \quad (55)$$

Das dritte und das sechste Glied von Gleichung (55) stellen die Differenzen der Brems- und Antriebskräfte

zwischen dem linken und dem rechten Vorderrad bzw. zwischen dem linken und dem rechten Hinterrad dar. Wie oben beschrieben, kann die Drehung um die z-Achse durch die Steuerung der Bremskraft am linken und am rechten Vorderrad mittels des Bremsdruck-Steuerabschnittes 83 und durch die Steuerung der Brems- und Antriebskräfte am linken und am rechten Hinterrad mittels des Bremsdruck-Steuerabschnittes 83 und der gesteuerten Differentialgetriebeeinheit 77 aktiv gesteuert werden, indem das Moment um die z-Achse direkt gesteuert wird.

Wie andererseits aus Gleichung (54) ersichtlich ist, werden das dritte und das vierte Glied in dieser Gleichung bei einer Erhöhung der Brems- und Antriebskräfte ($F_{a1} - F_{b1}$) und ($F_{a2} - F_{b2}$) abgesenkt, was zu einer Zunahme des Querschubwinkels β führt. Ferner werden das vierte und das fünfte Glied in Gleichung (55) erhöht, so daß die Winkelbeschleunigung $d\omega_z/dt$ um die z-Achse erhöht wird, wodurch das Fahrzeug in einen Schleuderezustand versetzt wird. Um hierbei das Schleudern zu verhindern, ist es, wie aus den Gleichungen (54) und (55) ersichtlich, wirksam, die Brems- und Antriebskräfte so zu steuern, daß sie nicht übermäßig hoch werden, und ferner den Lenkwinkel δ in den negativen Bereich (entgegen der Kurvenrichtung, d. h. durch Gegensteuern) zu verringern, um das Drehmoment um die z-Achse auf 0 zu verringern oder sogar in die der Richtung der von den Vorderrädern erzeugten Seitenführungskraft entgegengesetzten Richtung zu verändern (Fig. 33).

In Fig. 34 ist die Verwirklichung der obenerwähnten Steuerung dargestellt. Die Beschreibung wird zunächst für die die Lenkfunktion aufweisenden Vorderräder und anschließend für die Hinterräder gegeben. In den Gleichungen (42) und (43) stellt $\beta + l_f \cdot \omega_z/V$ den Querschubwinkel im Spurmittelpunkt der Vorderräder dar, der durch die Verarbeitung der Information vom Sensor 85 für die Bewegung in sechs Freiheitsgraden durch die Steuereinheit 300 erfaßt werden kann. Hierbei wird durch die Verlegung der durch den Spurmittelpunkt der Vorderräder verlaufenden Querschubrichtung in die vertikale Achse und der Seitenführungskraft in die horizontale Achse und durch die Setzung des zwischen dem Querschubwinkel im Spurmittelpunkt der Vorderräder und den Vorderrädern selbst auf δ' der Lenkwinkelvektor betrachtet. Die Projektion des Lenkwinkelvektors auf die Achse der Seitenführungskraft wird als tatsächliche Seitenführungskraft angesehen. Es ist ersichtlich, daß γ' den Lenkwinkel darstellt, der die tatsächliche Seitenführungskraft erzeugt. Wenn der Lenkwinkel δ' zunimmt, wird die Seitenführungskraft bei einem bestimmten Lenkwinkel maximal, um anschließend wieder abzunehmen. Daher ergibt der Lenkwinkelvektor die Bahn, wie sie in Fig. 34 dargestellt ist. In Fig. 34 stellt der Zustand (a) den Fall dar, in dem eine normale Steuerung ausgeführt wird, in der der Lenkwinkel δ' und die Seitenführungskraft positiv sind. Die Zustände (b) und (c) stellen das besondere Merkmal der vorliegenden Erfindung dar, gemäß dem der Lenkwinkel gesteuert wird. Im Zustand (b) wird der Lenkwinkel δ' auf den Wert "0" gesteuert, derart, daß die Seitenführungskraft 0 wird. Ferner wird im Zustand (c) der Lenkwinkel δ' auf einen negativen Wert gesteuert, daß eine Seitenführungskraft in der der Kurvenrichtung entgegengesetzten Richtung erzeugt wird. Dies ist äquivalent zu der Ausführung einer Gegensteuerung, was eine schwierige Fahrtechnik darstellt, die nur sehr geübten Fahrern möglich ist.

Nun wird die entsprechende Beschreibung für die Hinterräder gegeben. Im normalen Fahrzustand (d) und (e) wird bei einer Erhöhung der Antriebskraft F_a und der Bremskraft F_b die Seitenführungskraft verringert. Ferner wird im Zustand (f), in dem das Rad aufgrund einer auf den Reifen wirkenden übermäßigen Antriebskraft schleudert, und im Zustand (g), in dem das Rad aufgrund einer übermäßigen auf den Reifen wirkenden Bremskraft blockiert, die Seitenführungskraft im wesentlichen Null. Erfindungsgemäß wird eine solche Verringerung der Seitenführungskraft positiv ausgenutzt, so daß die Brems- und Antriebskräfte auf der Grundlage der Fahrzeuggeschwindigkeit und der Radgeschwindigkeit, die von den Radgeschwindigkeitssensoren 73a bis 73d erfaßt werden, vom Bremsdruck-Steuerabschnitt 83 und vom Drosselklappenöffnungswinkel-Steuerabschnitt 82 gesteuert werden, so daß folglich die Seitenführungskraft gesteuert wird. Das Verfahren zum Steuern der Seitenführungskraft mittels Steuerung der Bremskraft ist selbstverständlich auch auf die mit Bremsen ausgerüsteten Vorderräder anwendbar.

Erfindungsgemäß führt die Steuereinheit 300 auf aktive Weise ein Gegensteuern aus, indem sie nur die Bremsen an den Hinterrädern betätigt oder die Drosselklappe des Motors übermäßig öffnet, um ein Schleudern der Antriebsräder zu bewirken, und indem sie andere Steuerfunktionen für die Steuerung der Seitenführungs-kräfte an den einzelnen Rädern unabhängig voneinander ausführt, um so das Drehmoment um die z-Achse zu steuern. Dadurch wird eine Steuerung des Fahrzeugverhaltens auf der Grundlage der Information bezüglich des Fahrzeugverhaltens vom Sensor 85 für die Bewegung in sechs Freiheitsgraden, der Radgeschwindigkeit von den Radgeschwindigkeitssensoren 73a bis 73d der jeweiligen Räder, der vom Lenkwinkel-Steuerabschnitt 81 erhaltenen Lenkwinkelinformation, der vom Drosselklappenöffnungswinkel-Steuerabschnitt 82 erhaltenen Drosselklappenöffnungswinkel-Information und der vom Bremsdruck-Steuerabschnitt 83 erhaltenen Bremsdruckinformation ausgeführt. Selbstverständlich können die gesteuerte Differentialgetriebeeinheit 77 und der Kraftübertragungs-Steuerabschnitt 84 ebenfalls für die Steuerung der Brems- und Antriebskraft an den Hinterrädern verwendet werden.

Nun wird mit Bezug auf Fig. 35 die Verarbeitung für die Vorhersage des Fahrzeugverhaltens in der Steuereinheit 300 beschrieben. Die Steuereinheit 300 spricht auf die Winkelgeschwindigkeit ω_z um die z-Achse, die vom Sensor 85 für die Bewegung in sechs Freiheitsgraden geliefert wird, an (Beginn der Kurvenfahrt, Rücksetzen der Integrationsschaltung des Sensors 85 für die Bewegung in sechs Freiheitsgraden und Neustart der Erfassung). Anhand der linearen Geschwindigkeiten V_x und V_y in x-Richtung bzw. in y-Richtung wird der Querschubwinkel $\beta = \arctan(V_x/V_y)$ im Schwerpunkt abgeleitet. Ferner erfaßt die Steuereinheit 300 anhand der Winkelgeschwindigkeit ω_z um die z-Achse und des Lenkwinkels, der vom Fahrer über das Lenkrad 78 eingestellt wird (und vom als Lenkwinkelsensor arbeitenden Lenkwinkel-Steuerabschnitt 81 erfaßt wird), den Querschubwinkel an den jeweiligen Rädern. Andererseits erfaßt die Steuereinheit 300 den Drehwinkel (Rollbewegungswinkel) um die x-Achse und den Drehwinkel (Nickbewegungswinkel) um die y-Achse anhand der Ausgaben des Sensors 85 für die Bewegung in sechs Freiheitsgraden, so daß sie auf diese Weise die Fahrzeuggelage und somit die Last an den

jeweiligen Rädern erfaßt. Ferner wird anhand der Informationen von den Hubsensoren 51fr, 51fl, 51rr und 51rl der Randaufhängungsmechanismen 76a bis 76d die Information, die die Veränderung der Fahrzeuglage darstellt, korrigiert. Mit der so hergeleiteten Veränderung der Fahrzeuglage und den Konstruktionsdaten des Radaufhängungsmechanismus wird die Veränderung der Ausrichtung wie etwa eine Änderung des Sturzwinkels und eine Änderung des Spurwinkels erfaßt. In Verbindung mit dem oben beschriebenen Prozeß werden die Radgeschwindigkeiten der jeweiligen Räder mittels der Radgeschwindigkeitssensoren erfaßt und mit der vom Sensor 85 für die Bewegung in sechs Freiheitsgraden erfaßten Fahrzeuggeschwindigkeit verglichen, woraus der Radschlupf an den jeweiligen Rädern abgeleitet werden kann. In Verbindung mit dem Querschubwinkel, der Last, der Ausrichtungsveränderung und dem Radschlupf an jedem Rad wird eine vorhergesagte Antriebskraft, die aufgrund eines vom Drosselklappen-Steuerabschnitt 82 erfaßten Drosselklappenöffnungswinkel-Befehls, der vom Kraftübertragungs-Steuerabschnitt 84 erfaßten Kraftübertragungs-Schaltposition, des maximalen Drehmoments am Hinterrad, das von der gesteuerten Differentialgetriebeeinheit begrenzt wird, der nichtlinearen Eigenschaften des Reifens und einer Mehrzahl von weiteren Informationen vorhergesagt wird, für die Ableitung der Seitenführungskraft an jedem Rad verwendet. Mit der so erhaltenen Seitenführungskraft, der Brems- und Antriebskraft und den in der Steuereinheit 300 intern gespeicherten Bewegungsgleichungen für die Bewegung in sechs Freiheitsgraden der Verhaltenscharakteristik des Standardfahrzeugs wird eine Sollsteuerung bezüglich des Fahrzeugverhaltens erzielt.

In Fig. 36 ist ein Steuerprozeß der Steuereinheit 300 gezeigt, in dem das Fahrzeugverhalten während einer Kurvenfahrt mit der kritischen Geschwindigkeit durch die Winkelgeschwindigkeit um die z-Achse dargestellt ist und in dem als Standardfahrzeug die neutrale Lenkung gewählt wird (d. h., daß das Fahrzeugverhalten nur durch den Lenkwinkel und die Geschwindigkeit bestimmt wird). Die Winkelgeschwindigkeit ω_{z0} um die z-Achse des Standardfahrzeugs, die auf die in Fig. 35 gezeigte Weise vorhergesagt wird, und die Winkelgeschwindigkeit ω_z um die z-Achse des zu steuernden Fahrzeugs werden miteinander verglichen. Wenn $\omega_z - \omega_{z0} > \xi$ (ξ ist eine Zufallskonstante, die $\xi > 0$ erfüllt) gilt, stellt die Steuereinheit 300 fest, daß bei dem Standardfahrzeugmodell ein Übersteuern bewirkt wird, und gibt diese Information an den Fahrer weiter, um diesen zu warnen. Dann gibt die Steuereinheit 300 einen Korrekturbefehl an den Lenkwinkel-Steuerabschnitt 81 aus, um den Lenkwinkel δ auf $\delta - \Delta\delta$ einzustellen. Wenn die Winkelgeschwindigkeit ω_z abnimmt, wird die Korrektur, mit der ω_z der Größe ω_{z0} folgen soll, fortgesetzt. Wenn andererseits die Winkelgeschwindigkeit ω_z trotz der Verkleinerung des Lenkwinkels $\Delta\delta$ bei fortgesetzter Verkleinerung des Lenkwinkels nicht abnimmt, werden der Drosselklappenöffnungswinkel Θ und der Bremsleitungsdruck ζ auf ähnliche Weise wie der Lenkwinkel δ durch den Drosselklappen-Steuerabschnitt 82 bzw. durch den Bremsdruck-Steuerabschnitt 83 verringert. Ferner wird vom Kraftübertragungs-Steuerabschnitt 84 und von der gesteuerten Differentialgetriebeeinheit 77 eine Korrektur ausgeführt, derart, daß die Bremskräfte am linken und am rechten Hinterrad und die Antriebskraft geeignet verringert werden, um die Last an den Vorderrädern und die Seitenführungskräfte an den Hinterrädern zu erhöhen, um so das Drehmoment um die z-Achse relativ zu verringern. Außerdem wird durch die Einstellung des Lenkwinkels in der der Kurvenrichtung entgegengesetzten Richtung (Gegensteuern) eine Korrektur ausgeführt, um ein positives Drehmoment in der entgegengesetzten Richtung zu erzeugen. Somit kann mit der oben beschriebenen Prozedur die Winkelgeschwindigkeit ω_z so gesteuert werden, daß sie der Soll-Winkelgeschwindigkeit ω_{z0} folgt. Wenn jedoch die Winkelgeschwindigkeit ω_z durch sämtliche der oben beschriebenen Steuerungen nicht verringert werden kann, wird eine Lenkoperation in Gegensteuerrichtung bis zum Anschlag ausgeführt, ferner werden die Bremsdrücke zwischen den Vorderrädern und Hinterrädern in einer Beziehung "Vorderrad-Bremsdruck > Hinterrad-Bremsdruck" gehalten, schließlich wird der Querschubwinkel β so gesteuert, daß er sich $\pi/2$ annähert, um das Fahrzeug anzuhalten. Wenn gilt, daß $\omega_{z0} - \omega_z < \xi'$ (ξ' ist eine Zufallskonstante, die $\xi' > 0$ erfüllt), stellt die Steuereinheit 300 fest, daß im Standardmodell ein Untersteuern auftritt. Ähnlich wie oben kann die Steuereinheit 300 diese Information an den Fahrer weitergeben, um ihn zu warnen. Die Steuereinheit 300 gibt an den Lenkwinkel-Steuerabschnitt 81 einen Korrekturbefehl aus, damit er den Lenkwinkel δ auf $\delta + \Delta\delta$ einstellt. Wenn die Winkelgeschwindigkeit ω_z um die z-Achse zunimmt, wird eine Steuerung ausgeführt, derart, daß ω_z dem Sollwert ω_{z0} folgt. Wenn jedoch die Winkelgeschwindigkeit ω_z um den z-Achse trotz Erhöhung des Lenkwinkels um $\Delta\delta$ nicht zunimmt, wird angenommen, daß die Seitenführungskraft an den Vorderrädern ihren Grenzwert erreicht hat, woraufhin vom Drosselklappenöffnungswinkel-Steuerabschnitt 82, vom Bremskraft-Steuerabschnitt 83, vom Kraftübertragungs-Steuerabschnitt 84 und von der gesteuerten Differentialgetriebeeinheit 77 eine Korrektursteuerung ausgeführt wird, um die Bremskräfte und die Antriebskräfte an den linken und rechten Rädern geeignet einzustellen, derart, daß die Last an den Vorderrädern erhöht wird, um die Seitenführungskraft an den Vorderrädern zu erhöhen und die Seitenführungskraft an den Hinterrädern zu verringern, um so das Drehmoment um die z-Achse relativ zu erhöhen, damit ω_z dem Sollwert ω_{z0} folgt. Wenn ω_z trotz sämtlicher der oben beschriebenen Steuerungen nicht zunimmt, wird festgestellt, daß das Fahrzeug vollständig außer Kontrolle ist. In einem solchen Fall ist es möglich, die Drosselklappe vollständig zu schließen, ein Herabschalten der Kraftübertragung mit dem Ziel einer Motorbremswirkung auszuführen und Bremsdrücke anzulegen, um die Hinterräder zu blockieren, um so die Seitenführungskraft an den Hinterrädern auf "0" zu verringern. Dadurch wird das Drehmoment um die z-Achse schlagartig erhöht, wodurch eine Wirkung erzielt wird, die zu einer sogenannten Schleuderwende äquivalent ist. Wenn eine übermäßige Winkelgeschwindigkeit um die z-Achse auftritt, kann die oben beschriebene Steuerung aufgrund eines Übersteuerns ausgelöst werden.

Im allgemeinen wird die Lenkcharakteristik des Fahrzeugs so eingestellt, daß eine geringe Neigung zum Untersteuern besteht. Daher wird ein Übersteuern typischerweise dann auftreten, wenn die Straße einen sehr niedrigen Reibungskoeffizienten besitzt, wie dies etwa auf vereisten Straßen und dergleichen der Fall ist, oder wenn der Fahrer absichtlich eine übermäßige Bremskraft oder Antriebskraft an die einzelnen Räder (insbesondere an die Hinterräder) anlegt, um ein Übersteuern zu provozieren. Die in Fig. 36 gezeigte Steuerung ist für den erstgenannten Fall geeignet. Für den zweitgenannten Fall muß selbstverständlich angenommen werden, daß der

Fahrer ein Rutschen der Räder versucht, um den Querschubwinkel im Schwerpunkt zu erhöhen, damit die Kurvenfahrt bei Gegensteuerung ausgeführt werden kann. In diesem Fall steuert die Steuereinheit 300 den Querschubwinkel β entsprechend Betätigung des Fahrers in Verbindung mit der Ausführung der Steuerung der Winkelgeschwindigkeit ω_z um die z-Achse. Das heißt, daß es wünschenswert ist, die Verhaltenscharakteristik des Standardfahrzeugs, die als Sollsteuerung dient, entsprechend der Betätigung durch den Fahrer zu verändern, um die Erzeugung gegenteiliger Wirkungen zu verhindern.

In Fig. 37 sind Operationen des Fahrers gezeigt, mit denen er versucht, den Querschubwinkel im Schwerpunkt des typischen Fahrzeugs positiv zu erhöhen, während in Fig. 38 die Operationen des Fahrers gezeigt sind, bei denen er einen solchen Wunsch nicht unternimmt. Hierbei wird angenommen, daß der Querschubwinkel durch β_0 , der Lenkwinkel durch δ_0 , der Drosselklappenöffnungswinkel durch Θ_0 und der Bremsleitungsdruck durch ζ_0 gegeben ist, wenn ein Übersteuern erfaßt wird. In Fig. 37 ist die Verringerung des Lenkwinkels δ bei Auftreten eines Übersteuerns zweckmäßig; als Reaktion hierauf wird der Drosselklappenöffnungswinkel Θ erhöht. Das heißt, daß die Lenkung in der der Kurvenrichtung entgegengesetzten Richtung betätigt wird (Gegensteuern), um zu versuchen, ein Drehmoment in der der momentanen Drehrichtung entgegengesetzten Richtung hervorzurufen, und gleichzeitig die Seitenführungskraft an den Hinterrädern zu verringern, indem die Antriebskraft an den Hinterrädern erhöht wird, um so das Drehmoment um die z-Achse zu erhöhen. Hierdurch wird ein Kräftegleichgewicht erzielt, in dem das Drehmoment um die z-Achse im wesentlichen den Wert "0" annimmt. Im Gegensatz hierzu betätigt der Fahrer aufgrund eines unerwarteten Übersteuerns die Bremsen, wie in Fig. 38 gezeigt ist, so daß das Drehmoment um die z-Achse und somit der Querschubwinkel im Schwerpunkt des Fahrzeugs erhöht wird. Ferner wird aufgrund der Verzögerung der Einstellung des Lenkwinkels δ für die Korrektur des Querschubwinkels β im Schwerpunkt eine sogenannte Dutch-Rollbewegung verursacht. Aus dem Vergleich der Fig. 37 und 38 ist ersichtlich, daß durch die Erfassung des Querschubwinkels β , des Lenkwinkels δ , des Drosselklappenöffnungswinkels Θ und des Bremsdrucks ζ für den Fahrer eine Vorhersage mit verhältnismäßig hoher Genauigkeit erzeugt werden kann.

In Fig. 39 ist die Operation der Steuereinheit 300 bei Auftreten eines Übersteuerns dargestellt, wenn der Drosselklappenöffnungswinkel Θ gemäß dem Willen des Fahrers geändert wird. Bei Beginn des Übersteuervorgangs wird der Drosselklappenöffnungswinkel Θ_0 erfaßt. Dieser Anfangswert wird mit Θ_1 bezeichnet. Dann werden der Drosselklappenöffnungswinkel Θ_2 , die lineare Geschwindigkeit V_x , die Winkelgeschwindigkeit ω_z um die z-Achse und der Querschubwinkel β_1 im Schwerpunkt erfaßt, nachdem ein Zeitintervall Δt verstrichen ist. Anschließend wird $d\Theta/dt$ berechnet. Wenn $d\Theta/dt > 0$ ist, wird festgestellt, daß der Fahrer beabsichtigt, ein Übersteuern hervorzurufen. Gemäß dem Willen des Fahrers wird die Verhaltenscharakteristik des Standardfahrzeugs so geändert, daß sich eine falsche Übersteuercharakteristik ergibt. In der Praxis wird die erlaubte Winkelgeschwindigkeit ω_z um die z-Achse erhöht, indem der Querschubwinkel β durch die Addition eines Wertes verändert wird, wobei dieser Wert durch die Multiplikation der Veränderung des Drosselklappenöffnungswinkels $d\Theta/dt$ mit einer geeigneten Proportionalitätskonstanten multipliziert wird; hierbei ergibt sich für den Querschubwinkel β ein Wert β_1 , für den beispielsweise gilt: $\beta = \beta_1 + K \cdot d\Theta/dt$. Hierbei leitet die Steuereinheit 300 eine Standardlenkwinkel-Steuerkurve ($\Theta, V_x, \omega_z, \beta$) ab, indem sie den Drosselklappenöffnungswinkel Θ , die lineare Geschwindigkeit V_z in z-Richtung, die Winkelgeschwindigkeit ω_z um die z-Achse und den Querschubwinkel β im Schwerpunkt als Parameter verwendet (hierbei wird zum Zwecke der Darstellung in Fig. 39 ein Beispiel für eine Rechtskurve gezeigt, wobei V_x als einziger Parameter verwendet wird). Bei der Standardlenkwinkel-Steuerkurve ($\Theta, V_x, \omega_z, \beta$) wird angenommen, daß der Drosselklappenöffnungswinkel, bei dem der Lenkwinkel im Anschlag ist, maximal ist; dieser Winkel wird mit Θ_{max} bezeichnet. Der Drosselklappenöffnungswinkel Θ_{max} stellt den maximalen Wert dar, um ein Schleudern des Fahrzeugs durch eine Lenkwinkelsteuerung einschließlich einer Gegensteuerungsoperation zu vermeiden. Selbst wenn der Fahrer versucht, den Drosselklappenöffnungswinkel über diesen Wert zu erhöhen, gibt die Steuereinheit 300 an den Motor 1 über den Drosselklappenöffnungswinkel-Steuerabschnitt 82 einen Steuerbefehl aus, der den Wert auf $\Theta_2 = \Theta_{max}$ korrigiert. Wenn $\Theta_0 < \Theta_{max}$ ist, wird der Lenkwinkel auf $\delta = f(\Theta_2, V_x, \omega_z, \beta)$ korrigiert. Wenn in der Folge der oben beschriebene Prozeß wiederholt wird, wird die Standardlenkwinkel-Steuerkurve entsprechend dem Willen des Fahrers aktualisiert, so daß eine kontinuierliche Steuerung ausgeführt wird, damit das Fahrzeugverhalten dieser Charakteristik folgt. Wenn die Winkelgeschwindigkeit ω_z um die z-Achse 0 wird, wird festgestellt, daß das Fahrzeug die Kurvenfahrt beendet hat, so daß die Korrektursteuerung ebenfalls beendet wird.

In Fig. 39 ist ein Beispiel für den Fall gezeigt, in dem der Fahrer versucht, das Fahrzeug zum Rutschen zu bringen. Für andere an den Willen des Fahrers widerspiegelnde Fahroperationen werden verschiedene andere Betriebsgrößen (eingestellter Lenkwinkel, Drosselklappenöffnungswinkel, Bremsdruck und dergleichen), die vom Fahrer eingestellt werden, erfaßt, um so die Absicht des Fahrers vorherzusagen und die Standard-Verhaltenscharakteristik so zu aktualisieren, daß sie der Absicht des Fahrers folgt, so daß auch die Steuerung des Fahrzeugverhaltens dieser folgt.

Wenn die oben beschriebenen Steuerungen ausgeführt werden, kann die Steuereinheit 300 mittels einer Anzeigeeinrichtung 301 die Korrekturwerte für den Lenkwinkel, den Bremsdruck und den Drosselklappenöffnungswinkel in Realzeit anzeigen, um so eine Information bezüglich der Betriebsgrößendifferenz zwischen dem vom Fahrer eingestellten Betriebsgrößen und den für das geforderte Fahrzeugverhalten erforderlichen Betriebsgrößen zu schaffen. Wenn festgestellt wird, daß die Differenz zwischen den erwähnten Betriebsgrößen oder die zeitliche Differenz hinreichend gering ist, kann der Fahrer beliebig zwischen der Ausführung und der Nichtausführung der Steuerung wählen.

In Fig. 40 sind die Bewegungsgleichungen für die Bewegung in sechs Freiheitsgraden gezeigt, wenn das Verhaltenscharakteristik-Modell 235 des tatsächlich zu steuernden Fahrzeugs und das Verhaltenscharakteristik-Modell 234 des Standardmodells durch ein einfacheres Verhaltensmodell approximiert werden. Die von den unterbrochenen Linien eingeschlossenen Werte, die an zweiter Suffixstelle den Buchstaben e (Schätzung)

aufweisen, etwa A_{xet} , V_{xet} , X_{xet} , A_{xem} , X_{xem} , sind Vorhersagewerte für das zu steuernde Fahrzeug und das Standardfahrzeug nach Δt Sekunden, die auf der Grundlage des Verhaltens des zu steuernden Fahrzeugs, das vom Sensor 85 für die Bewegung in sechs Freiheitsgraden erfaßt wurde, abgeleitet werden.

Im folgenden wird der Prozeß für die Vorhersage des Verhaltens des zu steuernden Fahrzeugs und des Standardfahrzeugs in dieser Reihenfolge beschrieben. Die Vorhersage des Verhaltens des zu steuernden Fahrzeugs kann dadurch ausgeführt werden, daß eine Vielzahl von Verhaltensinformationen, die an der zweiten Suffixstelle ein s (Erfassung) besitzen, etwa A_{xst} , V_{xst} , X_{xst} , A_{xsm} , V_{xsm} , X_{xsm} und dergleichen, als Anfangswerte verwendet werden und anschließend integriert werden. Im Gegensatz hierzu werden bei der Vorhersage des Verhaltens des Standardfahrzeugs anfangs die in x-Richtung, y-Richtung und z-Richtung wirkenden Kräfte (F_{cx} , F_{cy} , F_{cz}) und das in x-Richtung, y-Richtung und z-Richtung des zu steuernden Fahrzeugs wirkende Drehmoment auf der Grundlage der linearen Beschleunigungen in den erwähnten Richtungen und der Winkelbeschleunigungen um diese Achsen, wie sie vom Sensor 85 für die Bewegung in den sechs Freiheitsgraden erfaßt wurden, und auf der Grundlage der Verhaltenscharakteristik-Parameter (Masse M_t , Trägheitsmoment um die jeweiligen Achsen I_{xt} , I_{yt} , I_{zt} und dergleichen) des zu steuernden Fahrzeugs abgeleitet. Diese Kräfte und Drehmomente enthalten steuerbare und nicht steuerbare Komponenten wie etwa die Windstärke. Dann werden durch die Lösung der Bewegungsgleichungen mittels dieser Kräfte, Drehmomente und Verhaltenscharakteristik-Parameter (Masse M_m , Trägheitsmoment I_{xm} , I_{ym} , I_{zm} und dergleichen) die linearen Beschleunigungen und die Winkelbeschleunigungen bezüglich der jeweiligen Achsen vorhergesagt. Unter Verwendung dieser vorhergesagten Beschleunigungen und Winkelbeschleunigungen und der Vielzahl der Verhaltensinformationen vom Sensor 85 für die Bewegung in sechs Freiheitsgraden kann durch Integration das Verhalten nach Δt Sekunden vorhergesagt werden. In Fig. 40 wird die Vorhersage unter Ausnutzung lediglich der momentanen Information ausgeführt. Eine noch genauere Steuerung kann dadurch erzielt werden, daß die Information unter zusätzlicher Verwendung der Information vor Δt Sekunden in einem Verfahren des Zentrierens endlicher Differenzen verwendet wird.

In der Steuereinheit 300 werden das Verhalten des zu steuernden Fahrzeugs nach Δt Sekunden und das Verhalten des Standardfahrzeugs nach Δt Sekunden miteinander verglichen, um die Vielzahl der Steuerbefehle zu aktualisieren, um so die Differenz zwischen ihnen zu verringern.

Obwohl die obige Beschreibung für ein spezielles Fahrzeug mit zwei lenkbaren Vorderrädern, einem Frontmotor und einem Heckantrieb mit einer entsprechenden Kraftübertragung und dergleichen gegeben worden ist, ist das erfindungsgemäße Verfahren für die Erfassung des Verhaltens der Bewegung in sechs Freiheitsgraden, die erfindungsgemäße Steuerung der Seitenführungskraft durch die Steuerung des Lenkwinkels in der der normalen Kurvenrichtung entgegengesetzten Richtung und dergleichen auf irgendwelche Typen von Fahrzeugen, selbst auf Elektrofahrzeuge anwendbar.

Aus der obigen Beschreibung ist ersichtlich, daß die erläuterten Ausführungsformen insbesondere der Erhöhung der Fahrsicherheit dienen, in dem Fahrtechniken ermöglicht werden, die zu denjenigen sehr geübter Fahrer äquivalent sind, selbst wenn das Fahrzeug in einem Zustand betrieben wird, der außerhalb der normalen Fahrverhaltenskriterien liegt und der ein Schleudern, ein Rutschen, ein Untersteuern und dergleichen zur Folge haben kann.

Patentansprüche

1. System für die Erfassung von physikalischen Größen, die dem Verhalten eines Kraftfahrzeugs (1) zugeordnet sind, mit Beschleunigungssensoren (21 bis 26), die an wenigstens zwei Achsen eines Fahrzeuglängsachse (x), die durch den Schwerpunkt des Fahrzeugs (1) verlaufende vertikale Achse (z) und die Querachse (y) des Fahrzeugs (1) umfassenden Fahrzeug-Koordinatensystems so angeordnet sind, daß auf jeder der Achsen (x, y, z) eine Mehrzahl dieser Beschleunigungssensoren (21, 22; 23, 24; 25, 26) angeordnet sind, gekennzeichnet durch
 - eine Einrichtung (48; 86; 300) für die Aufstellung von Transformationsgleichungen für die Bestimmung der Beschleunigungswerte der linearen Bewegung an einem beliebigen Punkt (S) des Fahrzeugs (1) in den Achsenrichtungen eines beliebigen Koordinatensystems und für die Bestimmung der Beschleunigungswerte der Rotationsbewegung um die Achsen des beliebigen Koordinatensystems unter gleichzeitiger Verwendung der Beschleunigungswerte, die von den an wenigstens zwei Achsen des Fahrzeug-Koordinatensystems (x, y, z) angeordneten Beschleunigungssensoren (21 bis 26) erfaßt wurden;
 - eine Einrichtung (48; 86; 300) für die Berechnung der Lösung der Transformationsgleichungen, um Beschleunigungswerte der linearen Bewegung in einem beliebigen Punkt (S) des Fahrzeugs (1) in Richtung einer jeden Achse des beliebigen Koordinatensystems und Beschleunigungswerte der Rotationsbewegung um jede Achse dieses beliebigen Koordinatensystems zu erhalten;
 - eine Einrichtung (48; 86; 300) für die Aufstellung von Bewegungsgleichungen, in denen eine Mehrzahl von Freiheitsgraden der Bewegung berücksichtigt sind; und
 - eine Einrichtung (48; 86; 300) für die Berechnung der Lösung der Bewegungsgleichungen mittels der Beschleunigungswerte der linearen Bewegung in einem beliebigen Punkt (S) des Fahrzeugs (1) in den Richtungen der Achsen des beliebigen Koordinatensystems und anhand der Beschleunigungswerte der Drehbewegung um jede Achse dieses beliebigen Koordinatensystems, um die dem Verhalten des Fahrzeugs (1) zugeordneten physikalischen Größen zu gewinnen.
2. System gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß an jeder Achse des die Längsachse (x) des Fahrzeugs (1), die durch den Schwerpunkt des Fahrzeugs (1) verlaufende vertikale Achse (z) und die Querachse (y) des Fahrzeugs umfassenden Fahrzeug-Koordinatensystems jeweils zwei Beschleunigungssensoren (21, 22; 23, 24; 25, 26) in gegenseitigem Abstand angeordnet sind.

3. System gemäß Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die an jeder der drei Achsen (x, y, z) angeordneten Beschleunigungssensoren (21 bis 26) so orientiert sind, daß sie jeweils die Winkelbeschleunigung in derjenigen Richtung, die zu der diese Sensoren jeweils aufnehmenden Achse senkrecht orientiert ist, erfassen.

4. System gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß an zwei Achsen des die Längsachse (x) des Fahrzeugs (1), die durch den Schwerpunkt des Fahrzeugs (1) verlaufende vertikale Achse (z) und die Querachse (y) des Fahrzeugs (1) umfassenden Fahrzeug-Koordinatensystems zwei Gruppen von Beschleunigungssensoren (21, 22; 23, 24; 25, 26) so angeordnet sind, daß die Beschleunigungssensoren einer jeden Gruppe in gegenseitigem Abstand positioniert sind, um die Beschleunigung in derjenigen Richtung, die zu der diese Sensoren aufnehmenden Achse senkrecht orientiert ist, zu erfassen.

5. System gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß auf den drei Koordinatenachsen eines dreidimensionalen cartesischen Koordinatensystems ($S-x_1x_2x_3$), dessen Ursprung (S) sich an einem ausgewählten Punkt im Fahrzeug (1) befindet, jeweils ein Paar von Beschleunigungssensoren (21, 22; 23, 24; 25, 26) angeordnet ist, wobei die Beschleunigungssensoren an Punkten, die vom Ursprung (S) verschieden sind, angeordnet und so orientiert sind, daß sie die Winkelbeschleunigung um diejenige Achse, die zu der sie aufnehmenden Achse senkrecht orientiert ist, erfassen, wobei die Erfassungsrichtung eines jeden Paares von Beschleunigungssensoren auf einer der Koordinatenachsen senkrecht ist zur Richtung der Beschleunigungserfassung eines anderen Paares von Beschleunigungssensoren, die auf einer zu dieser Koordinatenachse senkrechten Achse angeordnet sind.

6. System gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß an zwei von drei Koordinatenachsen eines dreidimensionalen cartesischen Koordinatensystems ($S-x_1x_2x_3$), dessen Ursprung (S) sich an einem ausgewählten Punkt im Fahrzeug (1) befindet, Paare von Beschleunigungssensoren (31, 32; 33, 34; 35, 36) angeordnet sind, wobei die Beschleunigungssensoren an Punkten, die vom Ursprung (S) verschieden sind, angeordnet sind, wobei ein Paar (33, 34) von Beschleunigungssensoren auf einer der Koordinatenachsen angeordnet ist und zwei Paare (31, 32; 35, 36) von Beschleunigungssensoren auf der anderen der zwei Koordinatenachsen angeordnet sind, wobei diese zwei Paare von Beschleunigungssensoren so orientiert sind, daß sie die zueinander senkrechten Winkelbeschleunigungen um die Achsen, die zu der sie aufnehmenden Achse senkrecht orientiert sind, erfassen.

7. System gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung für die Berechnung der Lösung der Transformationsgleichungen Werte der linearen Beschleunigung und der linearen Geschwindigkeit in Längsrichtung, in Querrichtung und in vertikaler Richtung, der linearen Entfernung von einem beliebigen Punkt (S) des Fahrzeugs des beliebigen Koordinatensystems und der Winkelbeschleunigung, der Winkelgeschwindigkeit und des Drehwinkels um jede Achse dieses Koordinatensystems berechnet.

8. System gemäß Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung für die Aufstellung der Bewegungsgleichungen eine Einrichtung für die Herleitung der Winkelbeschleunigung um eine der Koordinatenachsen auf der Grundlage der von den Beschleunigungssensoren erfaßten Werte der Winkelgeschwindigkeit um die beiden anderen Achsen umfaßt.

9. System gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung für die Berechnung der Lösung der Bewegungsgleichungen diese Bewegungsgleichungen löst, um auf der Grundlage der Werte der linearen Beschleunigung und der linearen Geschwindigkeit in Längsrichtung, in Querrichtung und in vertikaler Richtung, der linearen Entfernung vom beliebigen Punkt (S) des Fahrzeugs (1) des beliebigen Koordinatensystems und des Drehwinkels um jede Achse des Koordinatensystems die Kräfte in Längsrichtung, in Querrichtung und in vertikaler Richtung des Fahrzeugs (1) und die Drehmomente um die Achsen zu gewinnen.

10. System für die Steuerung des Verhaltens eines Kraftfahrzeugs (1), mit Beschleunigungssensoren (21 bis 26), die an wenigstens zwei Achsen eines die Fahrzeuglängsachse (x), die durch den Schwerpunkt des Fahrzeugs (1) verlaufende vertikale Achse (z) und die Querachse (y) des Fahrzeugs (1) umfassenden Fahrzeug-Koordinatensystems so angeordnet sind, daß auf jeder der Achsen (x, y, z) eine Mehrzahl dieser Beschleunigungssensoren (21, 22; 23, 24; 25, 26) angeordnet sind, gekennzeichnet durch

Einrichtungen (73a, 73b, 73c, 73d) für die Erfassung der Drehgeschwindigkeit der einzelnen Räder des Fahrzeugs (1);

Einrichtungen (51fr, 51fl, 51rr, 51rl) für die Erfassung der Radaufhängungsgeometrie des Fahrzeugs und somit der Fahrzeughöhe;

eine Einrichtung (81) für die Erfassung des mittels eines Lenkrades (78) eingestellten Lenkwinkels (δ); und

eine Steuereinrichtung (300) zum Steuern des Verhaltens des Fahrzeugs (1) auf der Grundlage der erfaßten Beschleunigung, der erfaßten Radgeschwindigkeit, der erfaßten Fahrzeughöhe und des erfaßten Lenkwinkels.

11. System gemäß Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuereinrichtung (300) eine Einrichtung für die Berechnung der linearen Geschwindigkeit in Längsrichtung des Fahrzeugs (1) auf der Grundlage der erfaßten Beschleunigungswerte und eine Einrichtung für die Bestimmung der Position des Schwerpunkts (G) und für die Erfassung des Querschubwinkelwertes (β) an den Rädern auf der Grundlage der berechneten linearen Geschwindigkeit und des Lenkwinkelwertes umfaßt und das Verhalten des Fahrzeugs (1) in Abhängigkeit vom Querschubwinkelwert (β) steuert.

12. System gemäß Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuereinrichtung (300) eine Einrichtung für die Berechnung der linearen Geschwindigkeit in Längsrichtung des Fahrzeugs (1) auf der Grundlage der erfaßten Beschleunigungswerte umfaßt,

den Radschlupf an den Rädern auf der Grundlage des berechneten linearen Geschwindigkeitswertes und des erfaßten Radgeschwindigkeitswertes ableitet und

das Bewegungsverhalten des Fahrzeugs (1) in Abhängigkeit hiervon steuert.

13. System gemäß Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuereinrichtung (300) eine Einrichtung für die Berechnung der linearen Geschwindigkeit in Längsrichtung des Fahrzeugs (1) auf der Grundlage der erfaßten Beschleunigungswerte und eine Einrichtung für die Ableitung der zurückgelegten Entfernung und der Fahrtrichtung des Fahrzeugs (1) auf der Grundlage des linearen Geschwindigkeitswertes und des erfaßten Radgeschwindigkeitswertes umfaßt.

14. System gemäß Anspruch 10, gekennzeichnet durch eine Einrichtung (48c) zum Speichern der Daten der Masse (M) und der Trägheitsmoment-Koeffizienten des Trägheitsmomentes (I) des Fahrzeugs (1), wobei die Steuereinrichtung (300) das Verhalten des Fahrzeugs (1) auf der Grundlage der Werte der Beschleunigung der Radgeschwindigkeit, der Fahrzeughöhe und des Lenkwinkels steuert.

15. System für die Steuerung des Verhaltens eines Kraftfahrzeugs (1), gekennzeichnet durch eine Einrichtung (231) für die Erfassung der Betriebsgrößen für die Steuerung des Lenksystems, des Fahrzeugmotors, der Kraftübertragung und des Radaufhängungssystems; eine Einrichtung (232) für die Erfassung der Steuergrößen von Betätigungseinrichtungen für die Steuerung des Lenksystems, des Motors, der Kraftübertragung und des Radaufhängungssystems; eine Einrichtung (233) für die Erfassung der dem Fahrzeugverhalten zugeordneten Größen in jeder der drei Raumrichtungen;

eine Einrichtung (234) zum Speichern eines Standardverhaltensmodells unter Verwendung der Betriebsgrößen eines Standardfahrzeugs mit einer vorgegebenen Referenz-Ansprechcharakteristik und der dem momentanen Fahrzeugverhalten zugeordneten Größen, um dem zukünftigen Verhalten des Standardfahrzeugs zugeordnete Größen auszugeben;

eine erste Vorhersageeinrichtung (234) der dem Verhalten des Standardfahrzeugs zugeordneten Größen anhand des Standardverhaltensmodells in bezug auf die eingegebenen Daten der erfaßten momentanen Betriebsgrößen und der dem momentanen Fahrzeugverhalten zugeordneten Größen;

eine Einrichtung (235) zum Speichern eines Verhaltensvorhersagemodells des tatsächlich zu steuernden Fahrzeugs (1) unter Verwendung der Betriebsgrößen und der dem Verhalten des tatsächlich zu steuernden Fahrzeugs (1) zugeordneten Größen als Eingangsdaten, um aufgrund dieser Eingangsdaten dem zukünftigen Verhalten des Fahrzeugs (1) zugeordnete Größen auszugeben;

eine zweite Vorhersageeinrichtung (235) für die Vorhersage der dem Verhalten des tatsächlich zu steuernden Fahrzeugs (1) zugeordneten Größen anhand des Verhaltensvorhersagemodells des tatsächlich zu steuernden Fahrzeugs (1) auf der Grundlage der erfaßten momentanen Betriebsgrößen und der dem Verhalten zugeordneten Größen;

eine erste Differenzerfassungseinrichtung (236) für den Vergleich der von der ersten Vorhersageeinrichtung (234) vorhergesagten Werte der dem Verhalten des Standardfahrzeugs zugeordneten Größen mit den von der zweiten Vorhersageeinrichtung (235) vorhergesagten Werten der mit dem Verhalten des tatsächlich zu steuernden Fahrzeugs (1) zugeordneten Größen;

eine zweite Differenzerfassungseinrichtung (237) für den Vergleich der Werte der dem Verhalten des tatsächlich zu steuernden Fahrzeugs zugeordneten Größen mit den von der ersten Vorhersageeinrichtung (234) vorhergesagten Werten der dem Verhalten des Standardfahrzeugs zugeordneten Größen, um eine Differenz zwischen diesen Werten abzuleiten; und

eine Steuereinrichtung (238), die auf die Differenz der von der ersten Differenzerfassungseinrichtung (236) erfaßten Vorhersagewert anspricht, falls diese einen vorgegebenen Wert übersteigen, um die Steuergrößen der Betätigungseinrichtungen in einer Richtung zu ändern, derart, daß die von der zweiten Differenzerfassungseinrichtung (237) erfaßte Differenz verkleinert wird.

16. System gemäß Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß

die Betriebsgrößen-Erfassungseinrichtung (231) eine Einrichtung (317) für die Erfassung des Lenkwinkels (δ) des Lenkrades (78), eine Einrichtung (436) für die Erfassung eines Hydraulikbremsdrucks, eine Einrichtung (423) für die Erfassung des Drosselklappenöffnungswinkels des Motors und eine Einrichtung für die Erfassung der Schaltposition der Kraftübertragung des Fahrzeugs umfaßt;

die Betätigungseinrichtung eine Lenkwinkel-Steuereinrichtung (81), eine Hydraulikbremsdruck-Steuereinrichtung (83), eine Drosselklappenöffnungswinkel-Steuereinrichtung (82), eine Kraftübertragungs-Steuereinrichtung (84) und eine Differentialgetriebe-Steuereinrichtung (77) umfassen; und

die Einrichtung für die Erfassung der dem Fahrzeugverhalten zugeordneten Größen wenigstens eine der folgenden Einrichtungen umfaßt:

eine Einrichtung (73a bis 73d) für die Erfassung der Drehgeschwindigkeit der Räder des Fahrzeugs; eine Einrichtung für die Erfassung der Änderungsrate der Längsbeschleunigung des Fahrzeugs (1); eine Einrichtung (21, 22) für die Erfassung der Längsbeschleunigung des Fahrzeugs (1); eine Einrichtung für die Erfassung der Längsgeschwindigkeit des Fahrzeugs (1); eine Einrichtung für die Erfassung der Änderung der Querbeschleunigung des Fahrzeugs (1); eine Einrichtung (23, 24) für die Erfassung der Querrichtung des Fahrzeugs (1); eine Einrichtung für die Erfassung der Geschwindigkeit in Querrichtung des Fahrzeugs; eine Einrichtung für die Erfassung der Änderungsrate der vertikalen Beschleunigung des Fahrzeugs (1); eine Einrichtung (25, 26) für die Erfassung der vertikalen Beschleunigung des Fahrzeugs (1); eine Einrichtung für die Erfassung der vertikalen Geschwindigkeit des Fahrzeugs (1); eine Einrichtung für die Erfassung der Änderungsrate der Winkelbeschleunigung der Rollbewegung des Fahrzeugs (1); eine Einrichtung für die Erfassung der Winkelbeschleunigung der Rollbewegung des Fahrzeugs (1); eine Einrichtung für die Erfassung der Winkelgeschwindigkeit der Rollbewegung des Fahrzeugs (1); eine Einrichtung für die Erfassung des Winkels der Rollbewegung des Fahrzeugs (1); eine Einrichtung für die Erfassung der Ände-

rungrate der Winkelbeschleunigung der Nickbewegung des Fahrzeugs (1); eine Einrichtung für die Erfassung der Winkelbeschleunigung der Nickbewegung des Fahrzeugs (1); eine Einrichtung für die Erfassung der Winkelgeschwindigkeit der Nickbewegung des Fahrzeugs (1); eine Einrichtung für die Erfassung des Winkels der Nickbewegung des Fahrzeugs (1); eine Einrichtung für die Erfassung der Änderungsrate der Winkelgeschwindigkeit der Gierbeschleunigung des Fahrzeugs (1); eine Einrichtung für die Erfassung der Winkelbeschleunigung der Gierbewegung des Fahrzeugs (1); eine Einrichtung für die Erfassung der Winkelgeschwindigkeit der Gierbewegung des Fahrzeugs (1); und eine Einrichtung für die Erfassung des Winkels der Gierbewegung des Fahrzeugs (1).

17. System gemäß Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung für die Erfassung der dem Fahrzeugverhalten zugeordneten Größen umfaßt:

Beschleunigungssensoren (21 bis 26), die an wenigstens zwei Achsen eines die Fahrzeuglängsachse (x), die durch den Schwerpunkt des Fahrzeugs (1) verlaufende vertikale Achse (z) und die Querachse (y) des Fahrzeugs (1) gebildeten Fahrzeug-Koordinatensystems so angeordnet sind, daß auf jeder der Achsen (x, y, z) eine Mehrzahl dieser Beschleunigungssensoren (21, 22; 23, 24; 25, 26) angeordnet sind;

eine Einrichtung (48; 86; 300) für die Aufstellung von Transformationsgleichungen für die Bestimmung der Beschleunigungswerte der linearen Bewegung in einem beliebigen Punkt (S) des Fahrzeugs (1) in den Achsenrichtungen eines beliebigen Koordinatensystems und für die Bestimmung der Beschleunigungswerte der Drehbewegung um die Achsen dieses beliebigen Koordinatensystems unter gleichzeitiger Verwendung der Beschleunigungswerte, die von den an wenigstens zwei Achsen des Fahrzeug-Koordinatensystems (x, y, z) angeordneten Beschleunigungssensoren (21 bis 26) erfaßt wurden;

eine Einrichtung (48; 86; 300) für die Berechnung der Lösung der Transformationsgleichungen, um Beschleunigungswerte der linearen Bewegung in einem beliebigen Punkt (S) des Fahrzeugs (1) in Richtung einer jeden Achse des beliebigen Koordinatensystems und Beschleunigungswerte der Drehbewegung um jede Achse dieses beliebigen Koordinatensystems zu erhalten;

eine Einrichtung (48; 86; 300) für die Aufstellung von Bewegungsgleichungen, in denen eine Mehrzahl von Freiheitsgraden der Bewegung berücksichtigt sind; und

eine Einrichtung (48; 86; 300) für die Berechnung der Lösung der Bewegungsgleichungen mittels der Beschleunigungswerte der linearen Bewegung in einem beliebigen Punkt (S) des Fahrzeugs (1) in den Richtungen der Achsen des beliebigen Koordinatensystems und anhand der Beschleunigungswerte der Drehbewegung um jede Achse dieses beliebigen Koordinatensystems, um die dem Verhalten des Fahrzeugs (1) zugeordneten physikalischen Größen zu erhalten.

18. System gemäß Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuereinrichtung (300) eine zusätzliche Steuergröße für die Lenkwinkel-Steuereinrichtung (81) in Kurvenrichtung erzeugt, die auf einen Geschwindigkeitsvektor im Mittelpunkt der zwischen dem linken und dem rechten lenkbaren Rad des Fahrzeugs (1) bezogen ist und von der Einrichtung für die Erfassung der dem Fahrzeugverhalten zugeordneten Größe erfaßt wird, wenn eine positive Seitenführungskraft bezüglich der Kurvenrichtung des Fahrzeugs erzeugt wird.

19. System gemäß Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Hydraulikbremsdruck-Steuereinrichtung (83) den Bremsdruck für jedes Rad unabhängig steuert.

20. System gemäß Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Hydraulikbremsdruck-Steuereinrichtung (83) ein Steuersystem für die unabhängige Steuerung des Bremsdruckes eines jeden Rades zwischen einem blockierten Zustand und einem nicht blockierten Zustand des Rades enthält.

21. System gemäß Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuereinrichtung (300) während der Steuerung der Seitenführungskraft des Rades den Bremsdruck unabhängig für jedes Rad zwischen dem blockierten Zustand und dem nicht blockierten Zustand des Rades steuert.

22. System gemäß Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuereinrichtung (300) eine Steuergröße für die Steuerung der maximalen Drehmomentdifferenz des Differentialgetriebes (77) und eine Steuergröße für die Steuerung der Schaltposition der Kraftübertragungs-Steuereinrichtung (84) erzeugt, um für die Differentialgetriebe-Steuereinheit bzw. für die Kraftübertragungs-Steuereinheit (84) Eingangsdaten bereitzustellen, um die auf das linke und das rechte Antriebsrad wirkende Motorbremskraft zwischen einem nicht blockierten und einem blockierten Zustand zu steuern, wodurch die Seitenführungskraft der Antriebsräder gesteuert wird.

23. System gemäß Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuereinrichtung (300) eine Steuergröße für die Steuerung des Drosselklappenöffnungswinkels, eine Steuergröße für die Steuerung der maximalen Drehmomentdifferenz des Differentialgetriebes (77) und eine Steuergröße für die Schaltposition der Kraftübertragungs-Steuereinrichtung (84) erzeugt, um für die Drosselklappenöffnungswinkel-Steuereinrichtung (82), für die Differentialgetriebe-Steuereinrichtung bzw. für die Kraftübertragungs-Steuereinrichtung (84) Eingangsdaten zu schaffen, um die linken und die rechten Antriebsräder zwischen einem Zustand, in dem das Fahrzeug (1) schleudert, und einem Zustand, in dem das Fahrzeug (1) nicht schleudert, zu steuern, wodurch die Seitenführungskräfte der Antriebsräder gesteuert werden.

24. System gemäß Anspruch 15, gekennzeichnet durch eine Einrichtung (301) für die Anzeige einer vorhergesagten Wertedifferenz, wenn die von der ersten Differenzfassungseinrichtung (236) erfaßte vorhergesagte Wertedifferenz einen vorgegebenen Wert übersteigt.

25. System gemäß Anspruch 16, gekennzeichnet durch eine Einrichtung für die Veränderung der Eingabe- und der Ausgabecharakteristik des Standardverhaltensmodells gemäß einer vorgegebenen Bedingung, wenn entweder der Lenkwinkel, der Bremsdruck oder der Drosselklappenöffnungswinkel eine vorgegebene Bedingung erfüllt.

26. System gemäß Anspruch 16, gekennzeichnet durch eine Einrichtung (301) für die Anzeige der Differenz

der Betriebsgrößen und der Steuergrößen.

27. System gemäß Anspruch 16, gekennzeichnet durch eine Einrichtung für die wahlweise Aktivierung und Inaktivierung der Steuereinrichtung (300) aufgrund eines Befehls vom Fahrer.

Hierzu 34 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

— Leerseite —

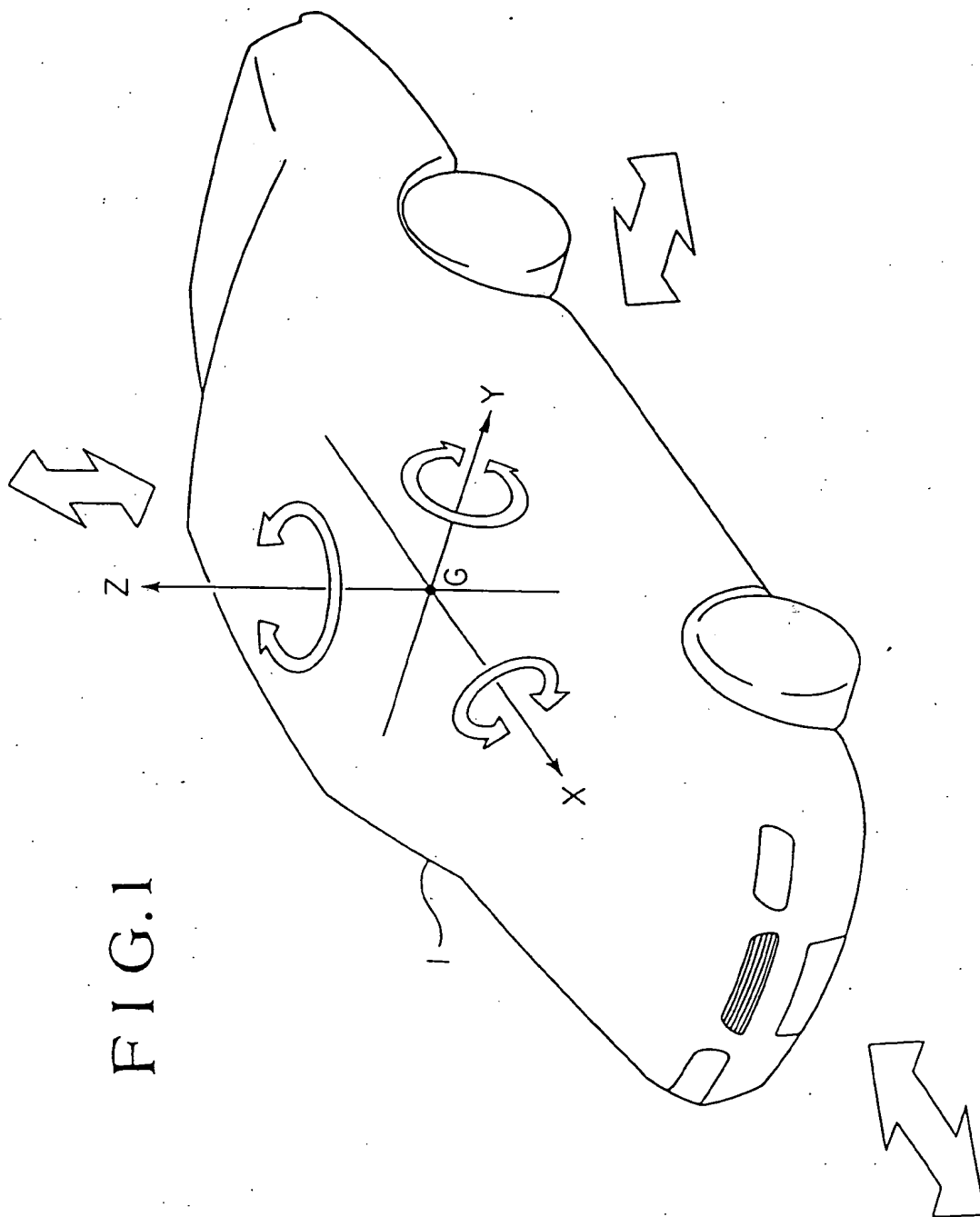


FIG. 1

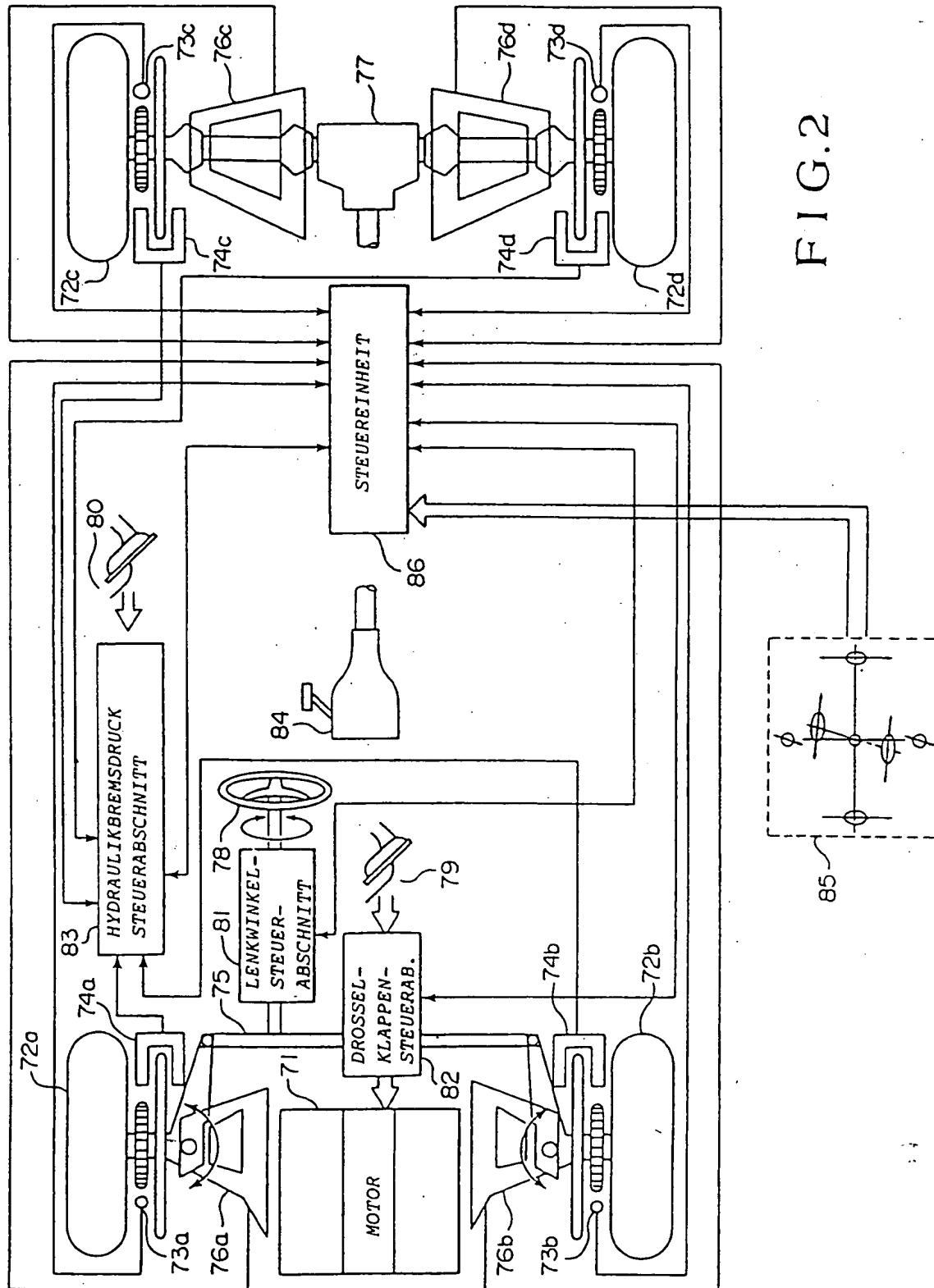


FIG. 2

FIG.3

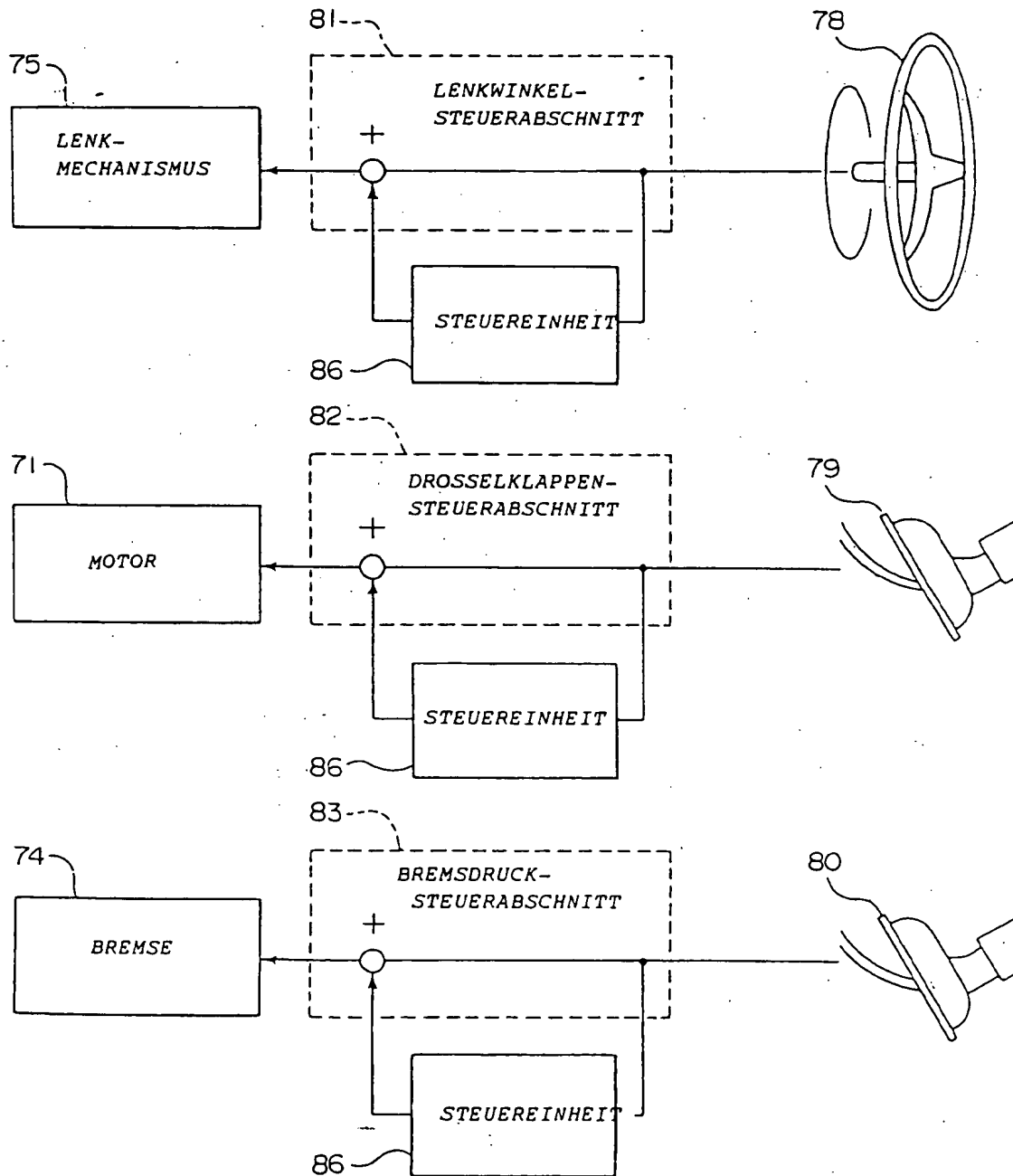


FIG.5

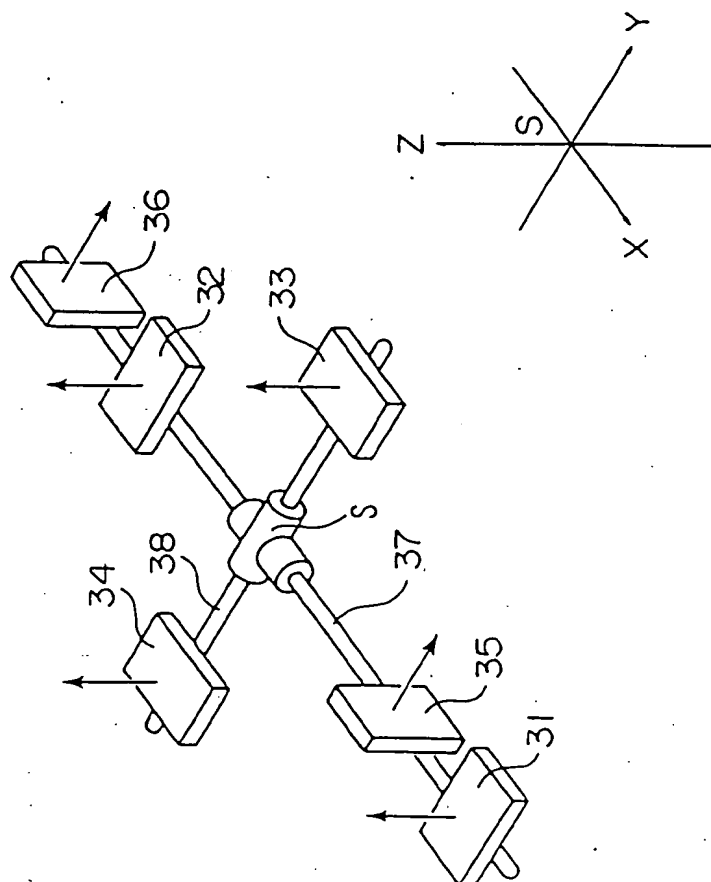


FIG.4

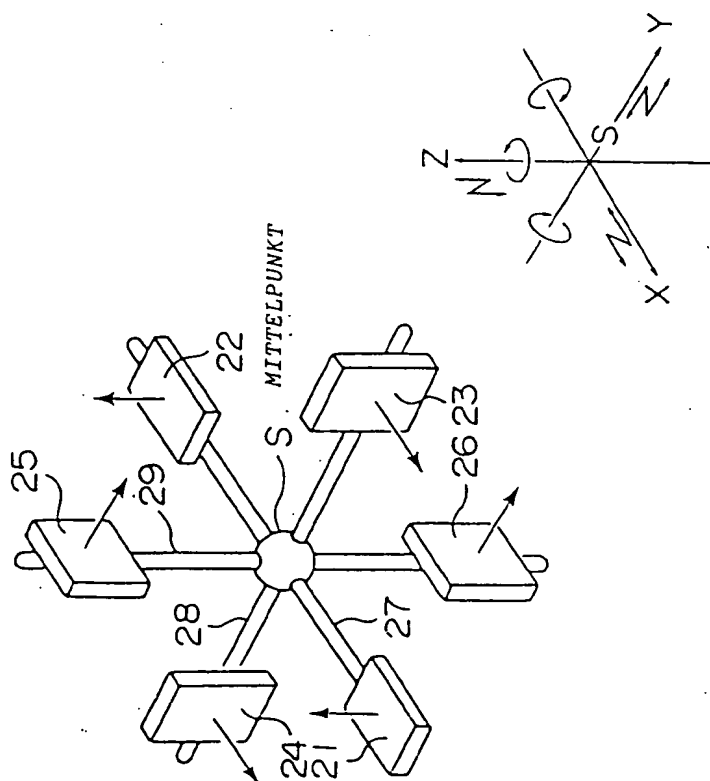


FIG.6

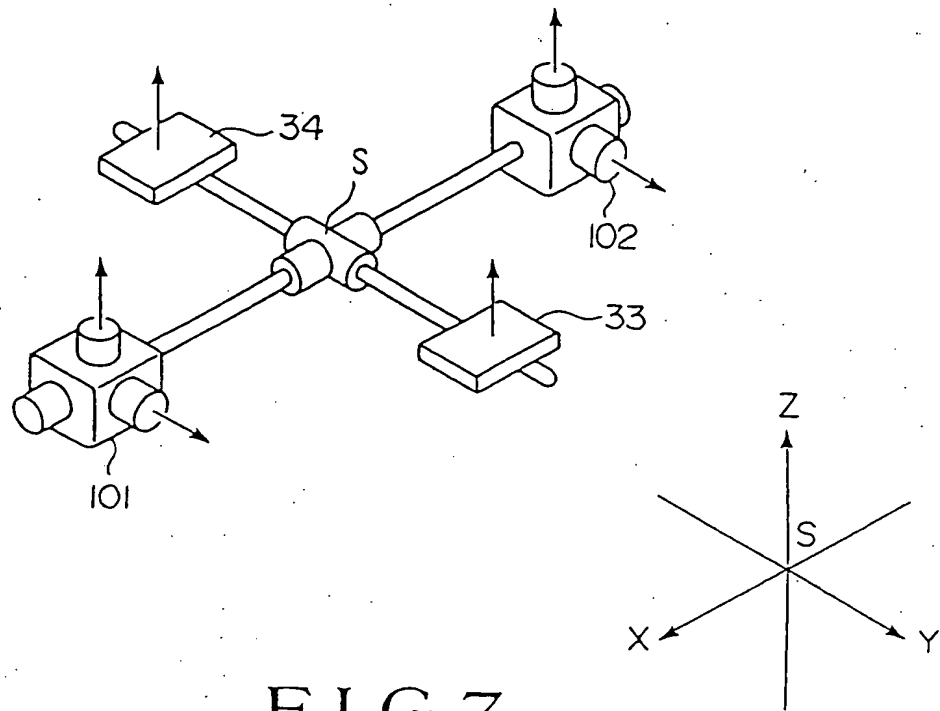


FIG.7

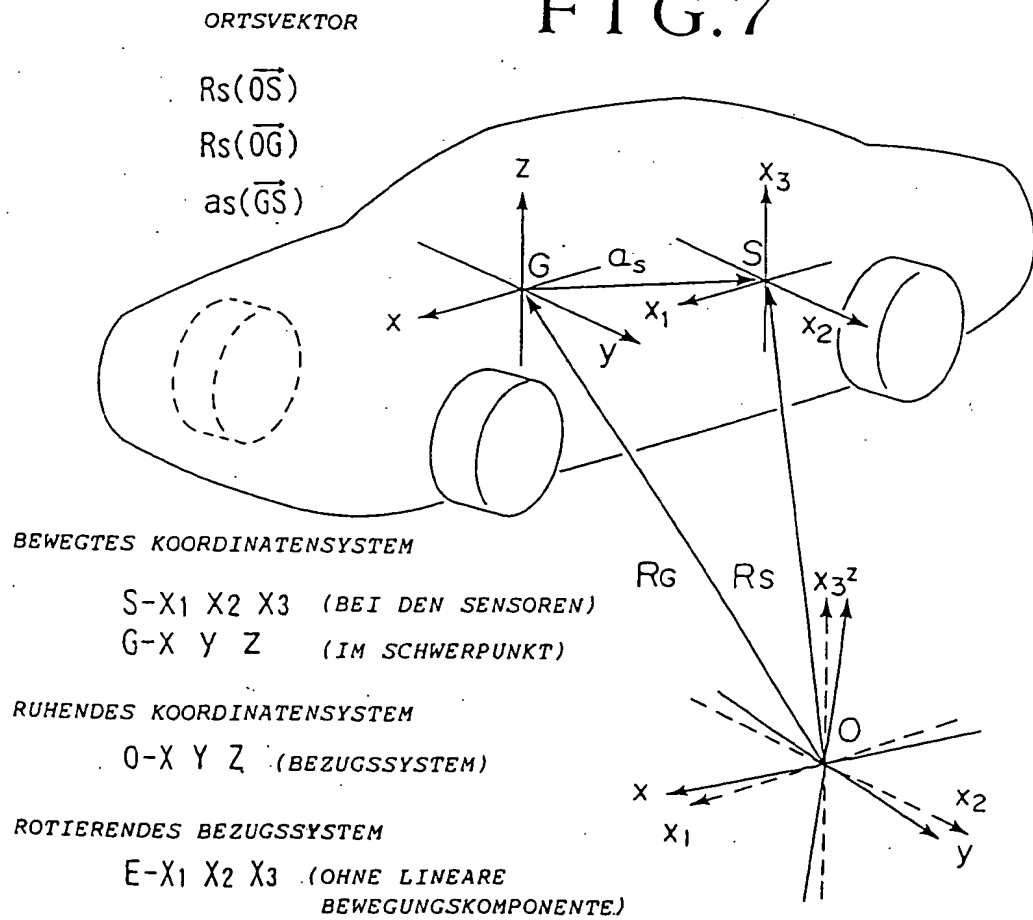


FIG.8

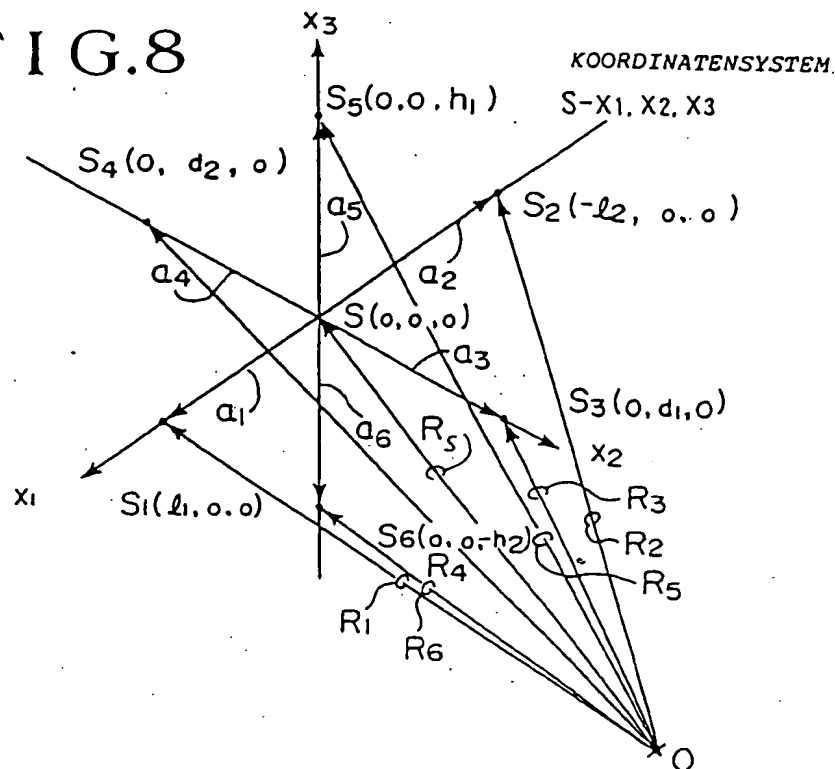
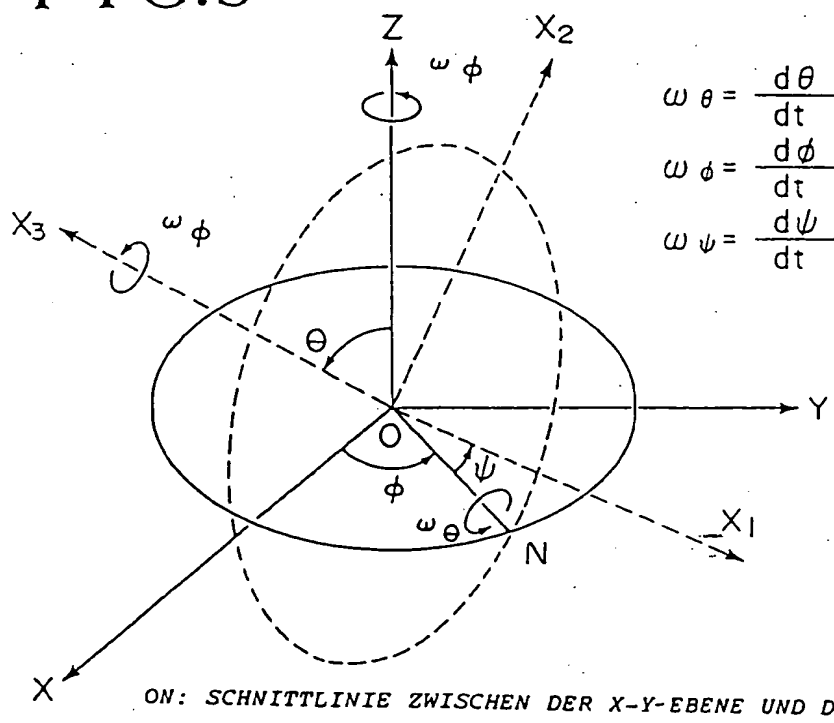


FIG.9



$$\omega_{\theta} = \frac{d\theta}{dt}$$

$$\omega_{\phi} = \frac{d\phi}{dt}$$

$$\omega_{\psi} = \frac{d\psi}{dt}$$

0-X Y Z BEZUGSKOORDINATENSYSTEM
E-X1 X2 X3 ROTIERENDES KOORDINATENSYSTEM

FIG.10

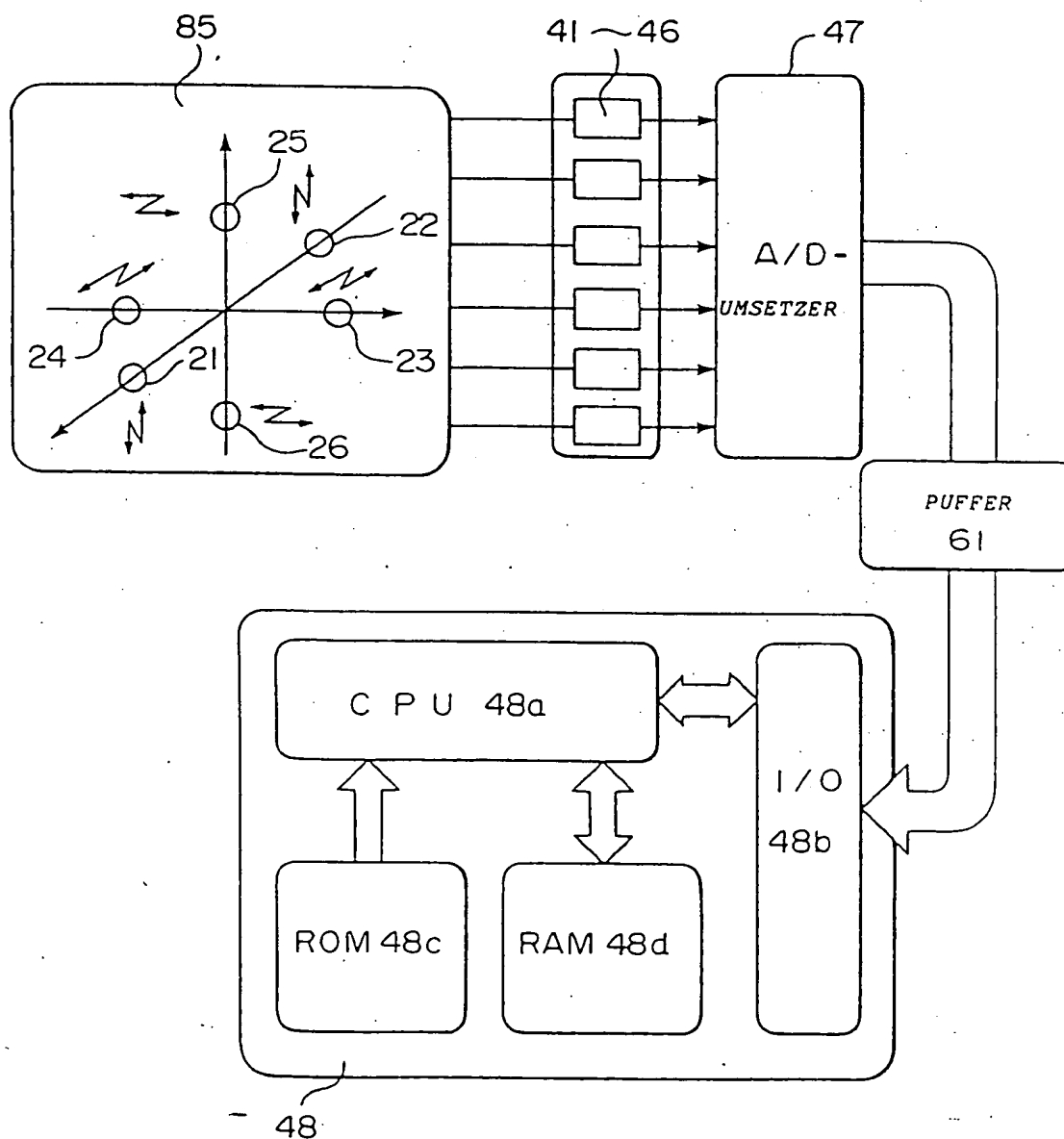


FIG. 11

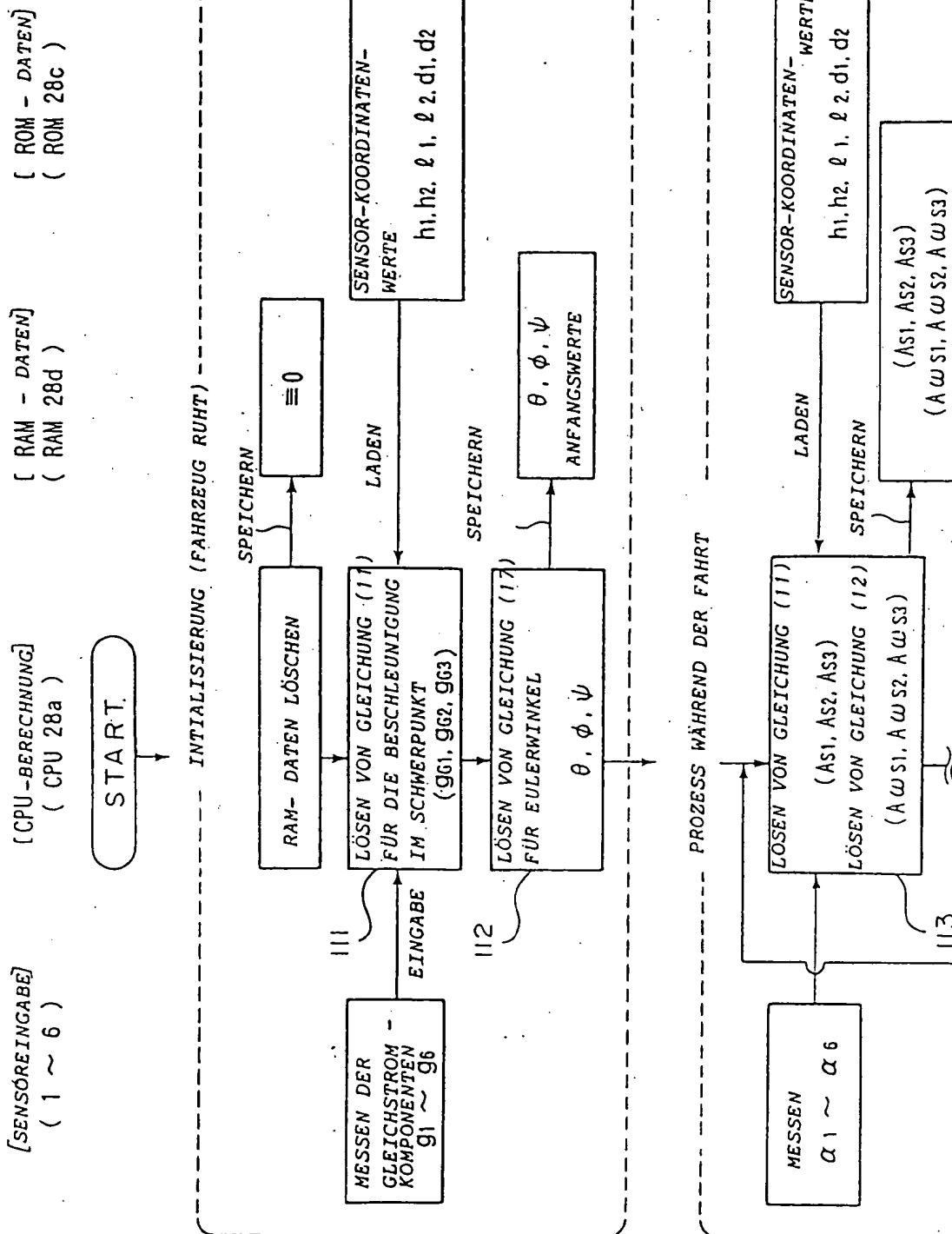


FIG.12

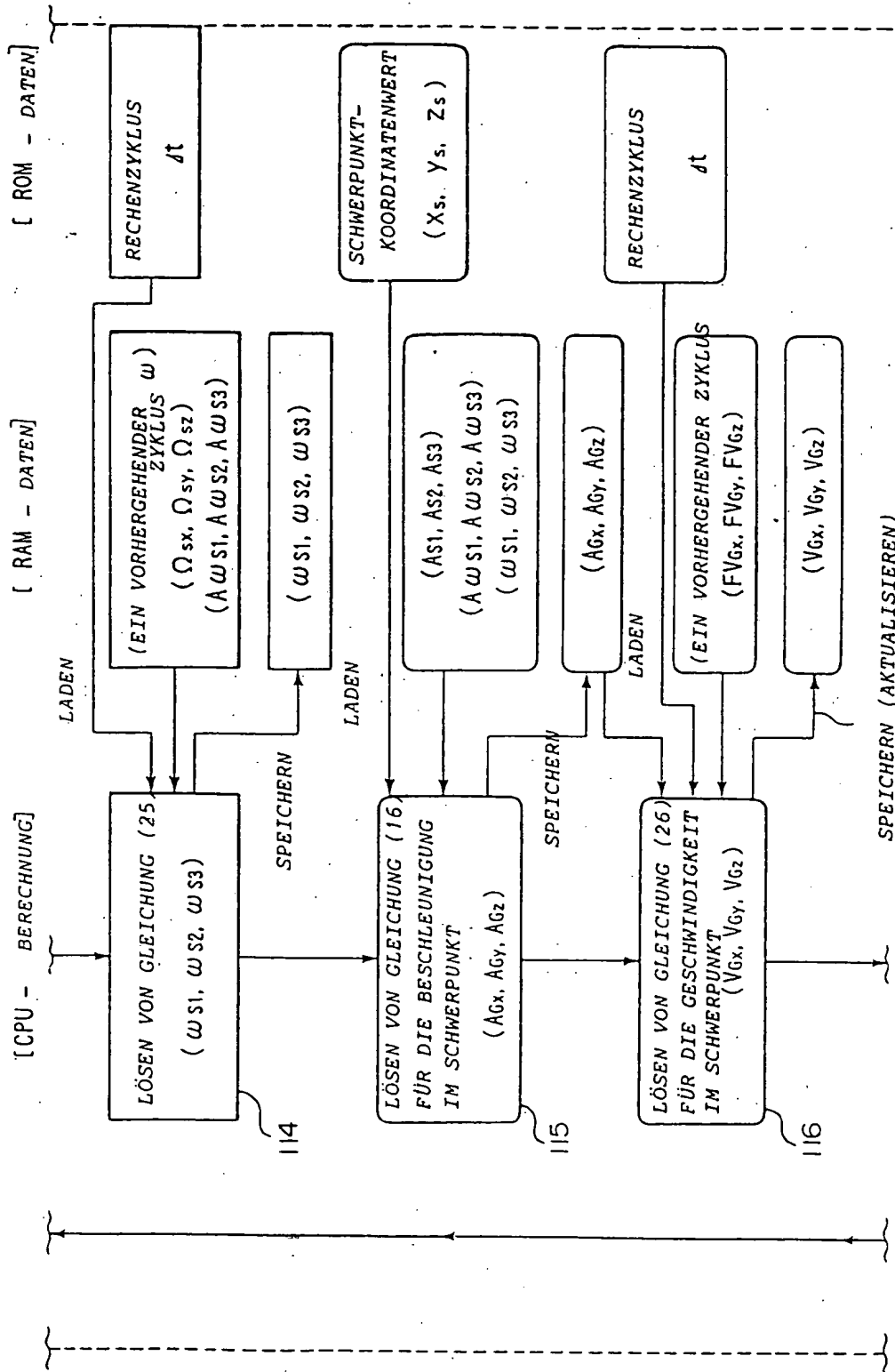


FIG.13

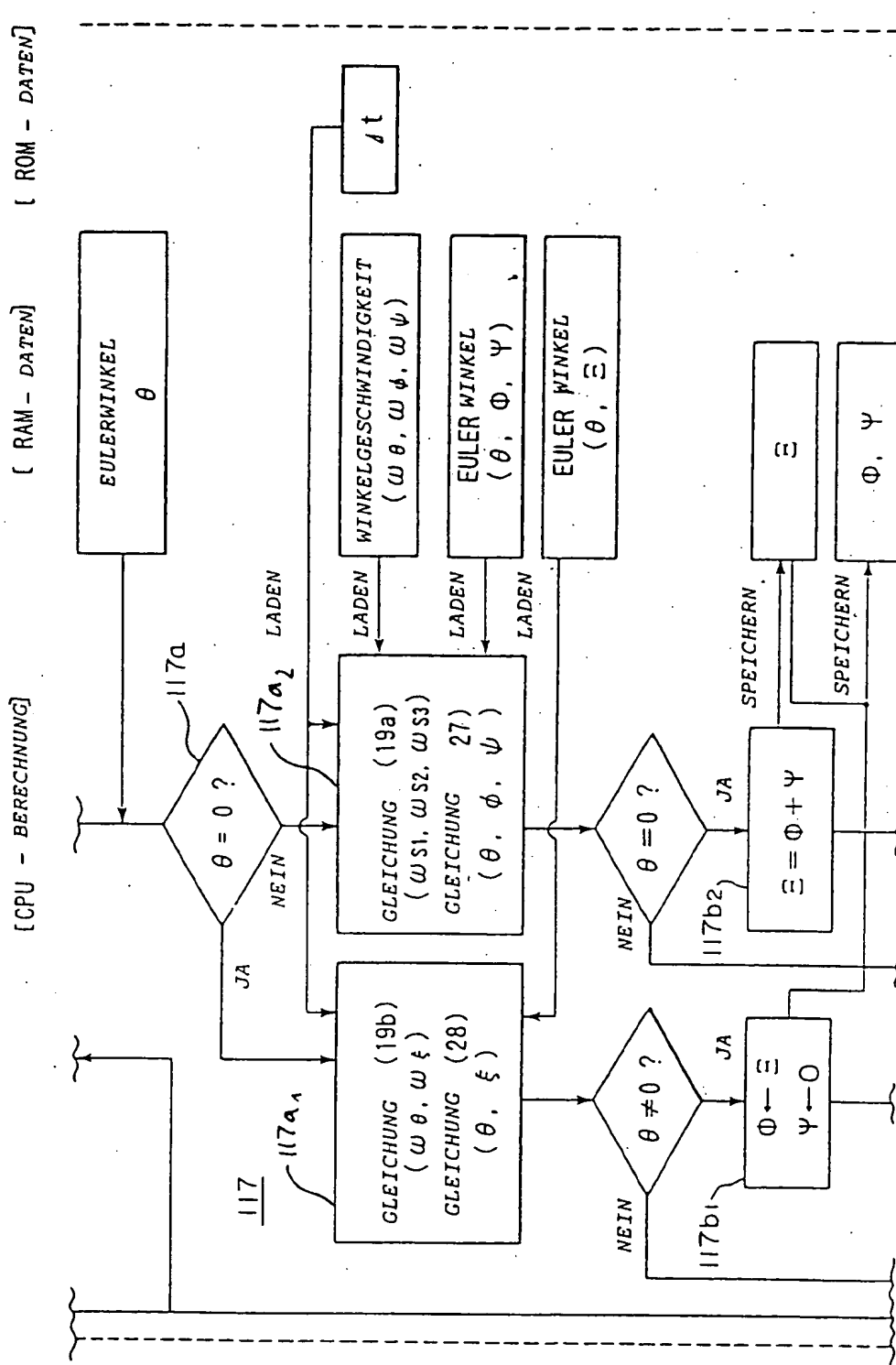


FIG.14

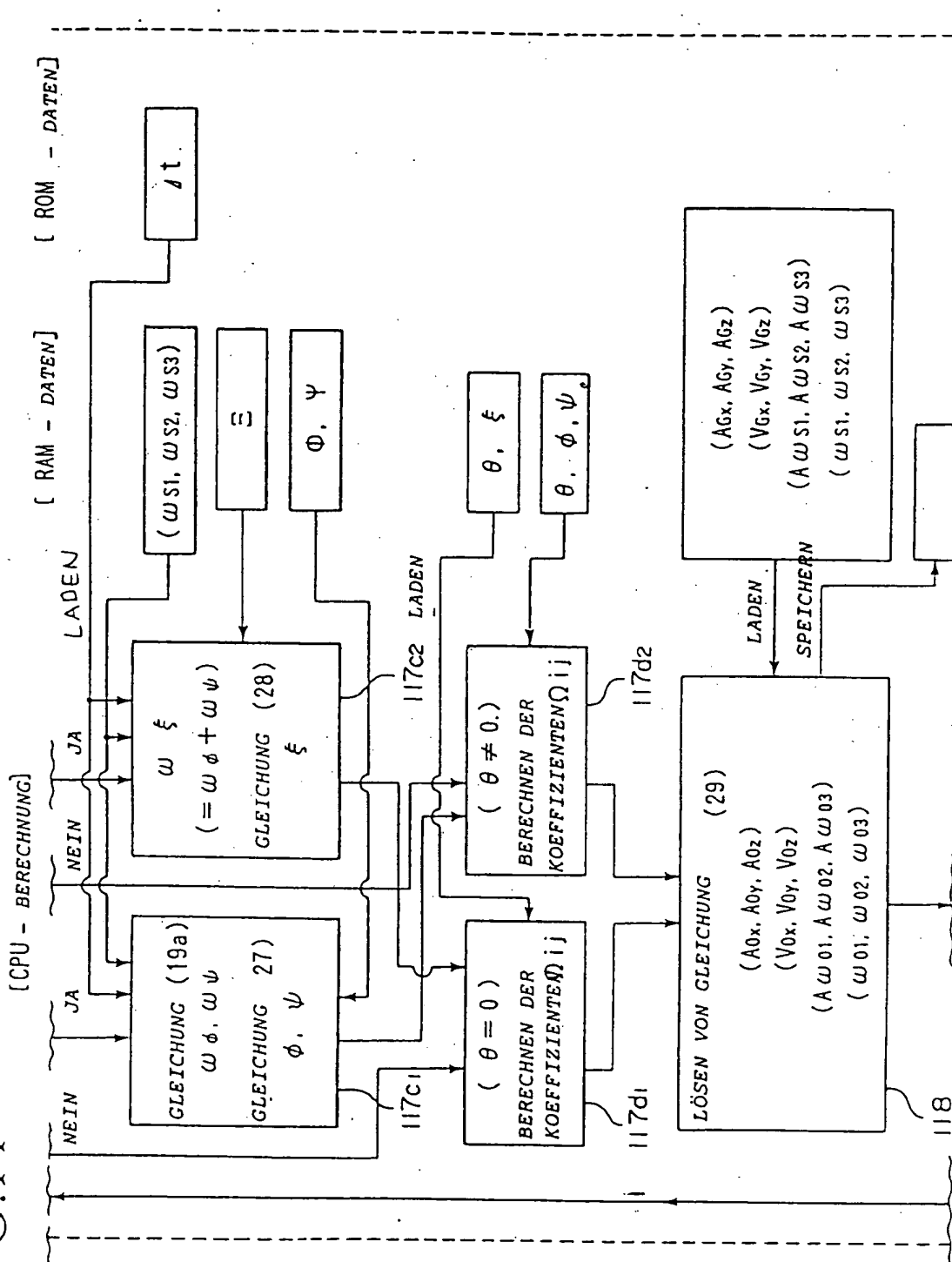


FIG. 15

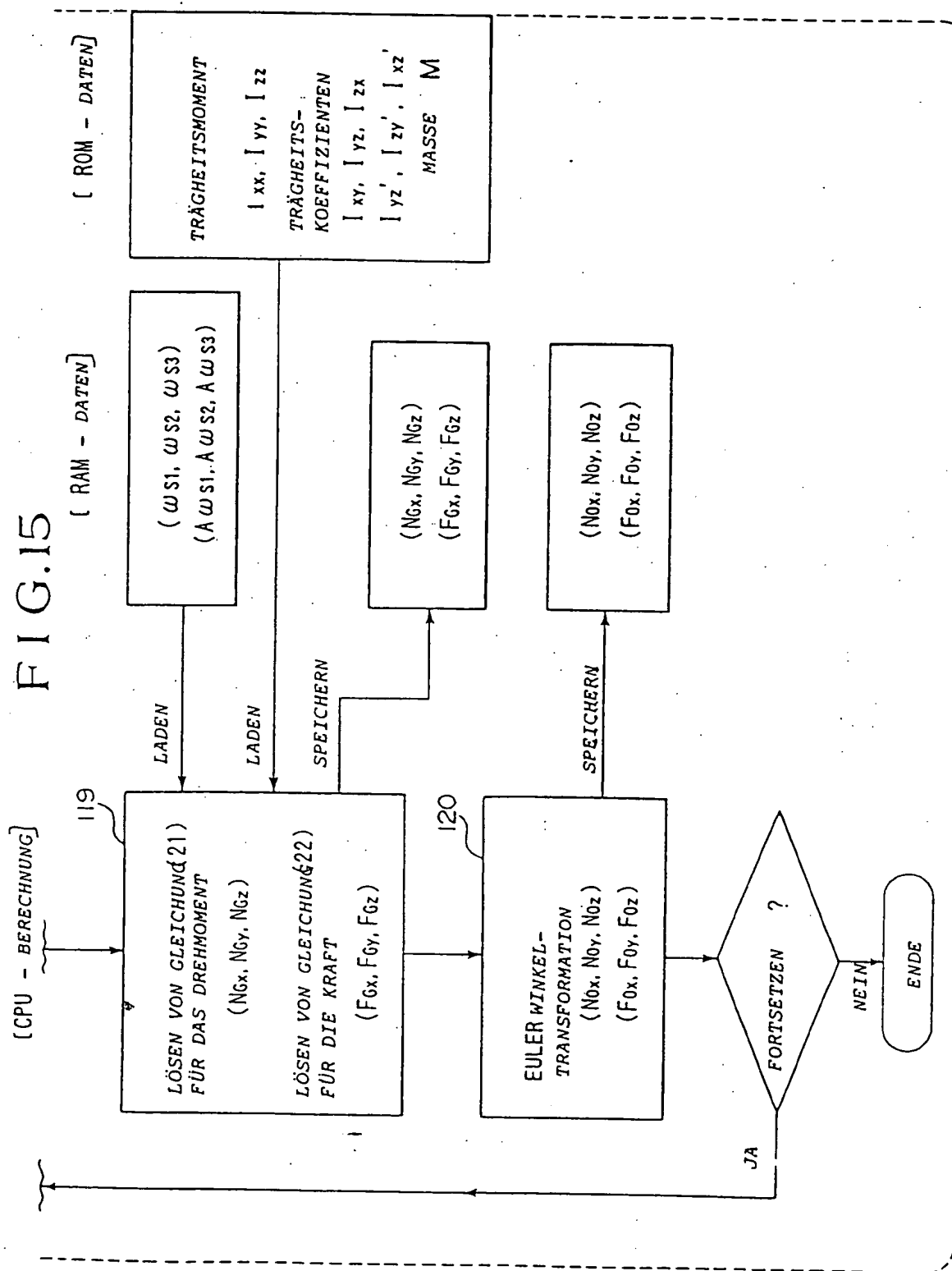


FIG. 16

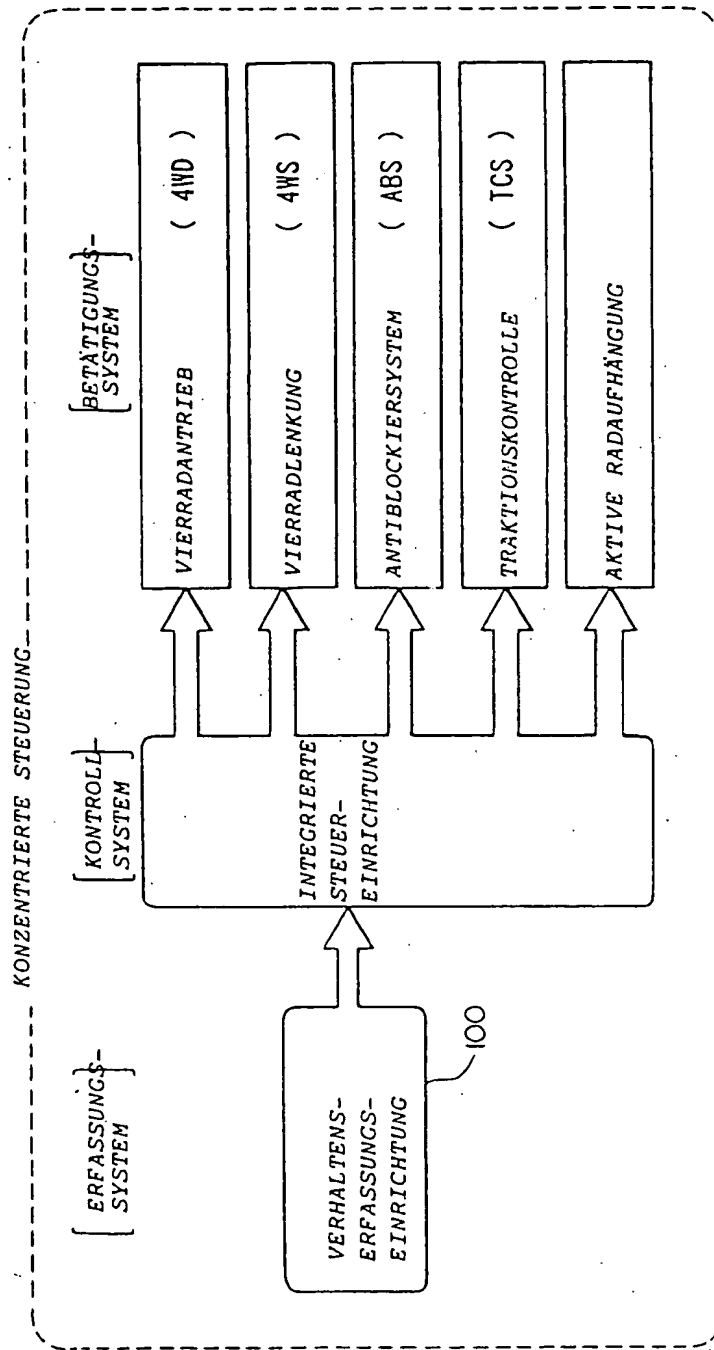
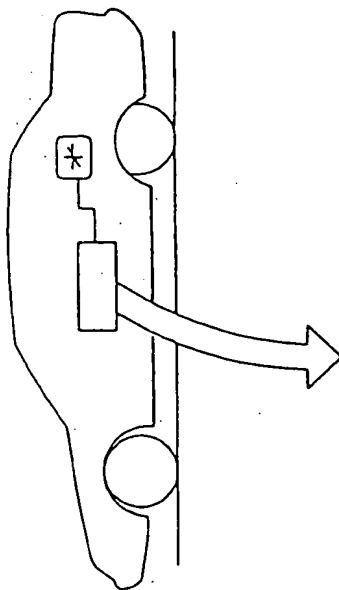


FIG.17

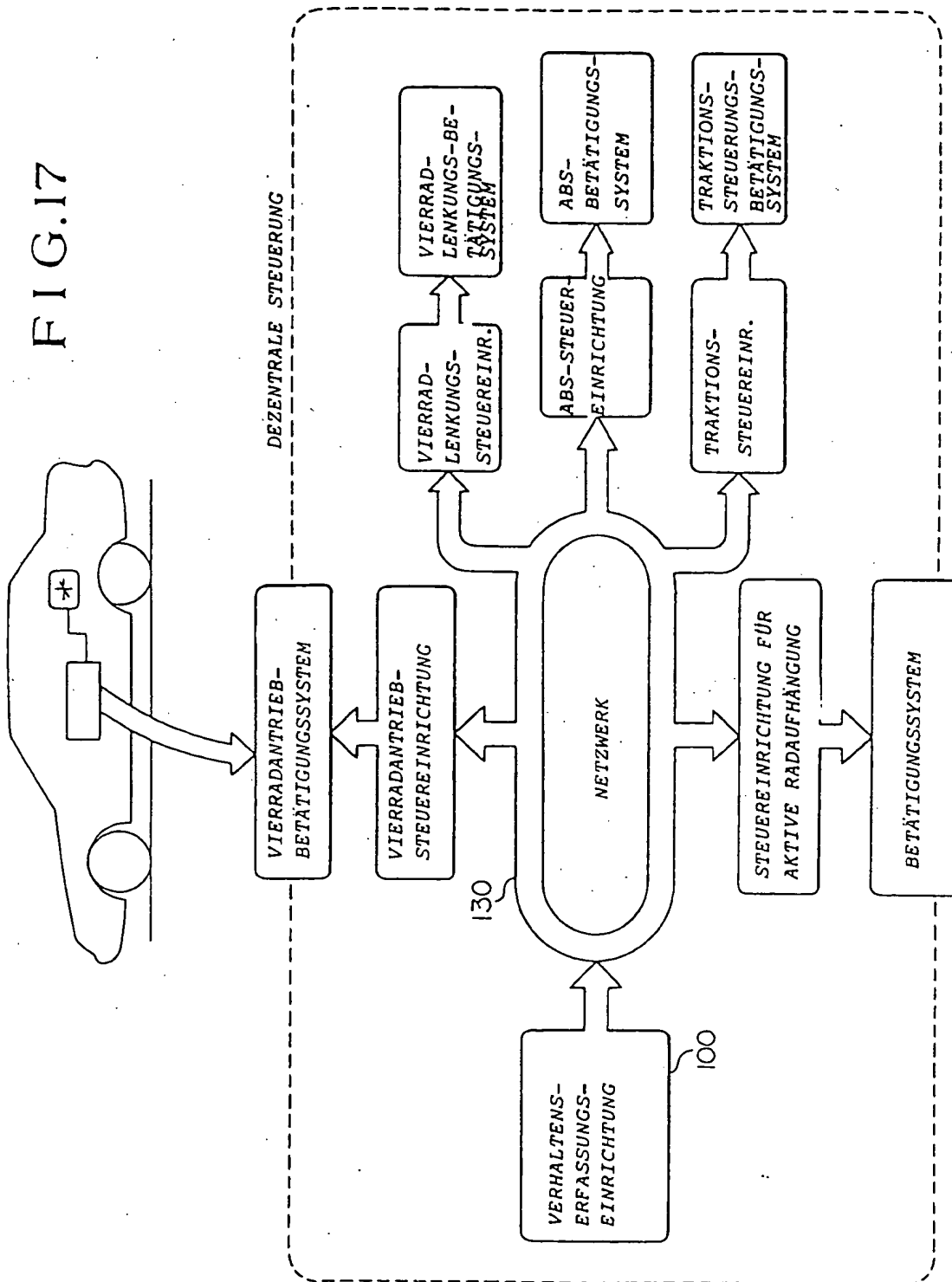
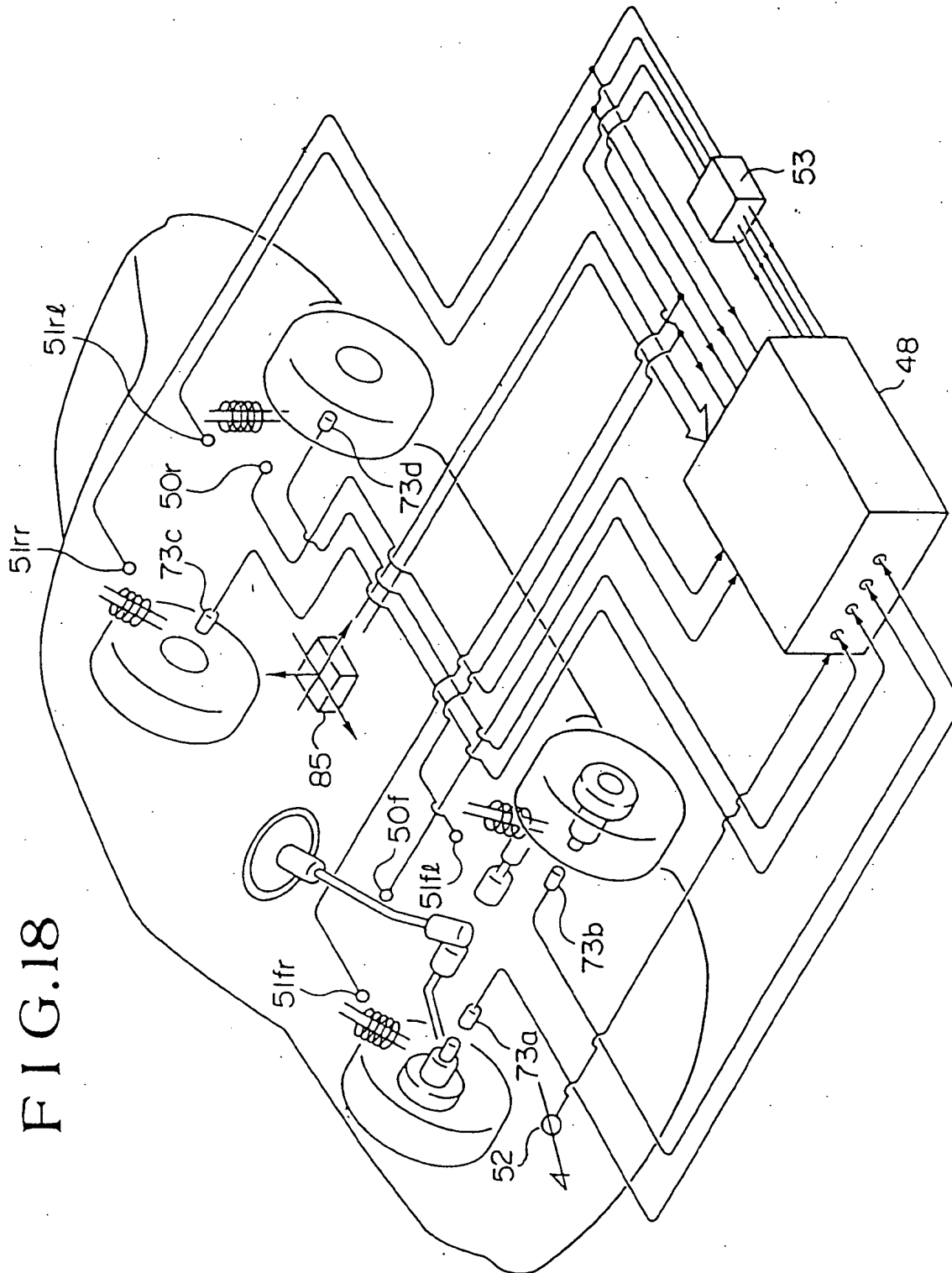
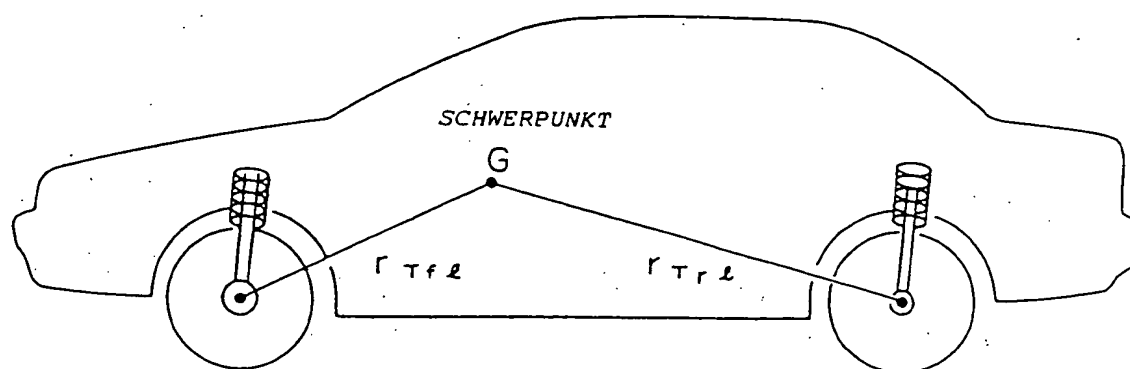


FIG. 18



F I G.19



LINKES VORDERRAD

$$r_{Tf l} = (X_{Tf l}, Y_{Tf l}, Y_{Tf l} - h_{f l})$$

LINKES HINTERRAD

$$r_{Tr l} = (X_{Tr l}, Y_{Tr l}, Y_{Tr l} - h_{r l})$$

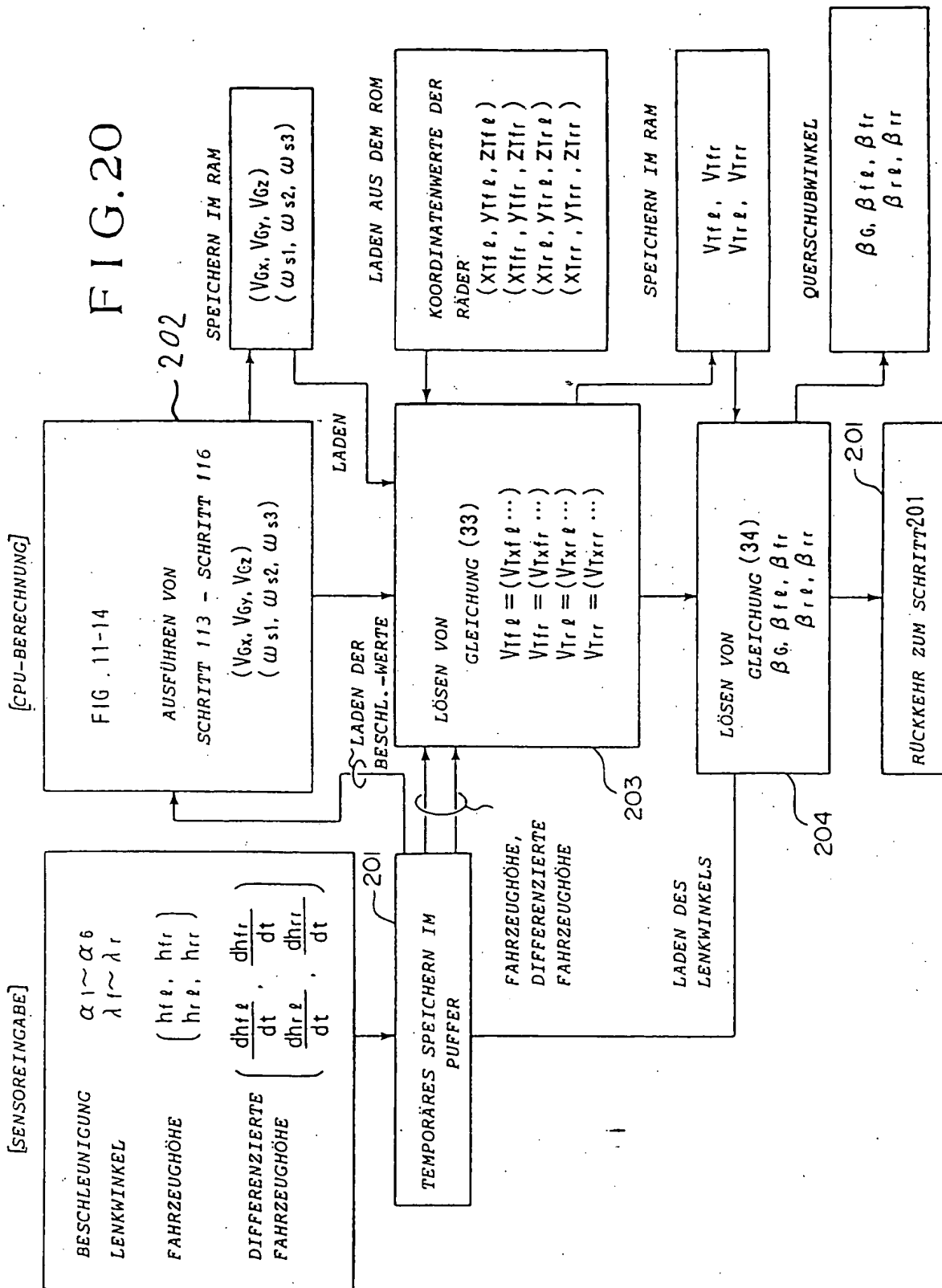
$$V_{Tf l} = (V_{Tx f l}, V_{Ty f l}, V_{Tz f l} - \frac{dh_{f l}}{dt})$$

$$V_{Tr l} = (V_{Tx r l}, V_{Ty r l}, V_{Tz r l} - \frac{dh_{r l}}{dt})$$

$$h_{f l}, h_{r l} \quad \frac{dh_{f l}}{dt} \quad \frac{dh_{r l}}{dt} \quad \text{MESSWERT DES FAHRZEUG-HÖHENSENSORS}$$

$$\left. \begin{array}{l} (X_{Tf l}, Y_{Tf l}, Z_{Tf l}) \\ (X_{Tr l}, Y_{Tr l}, Z_{Tr l}) \end{array} \right\} \text{ANFANGSSETZUNG}$$

GENAUSO BEIM RECHTEN VORDERRAD (r_{Tfr}) UND
FÜR RECHTES HINTERRAD (r_{Trr})



F I G. 21

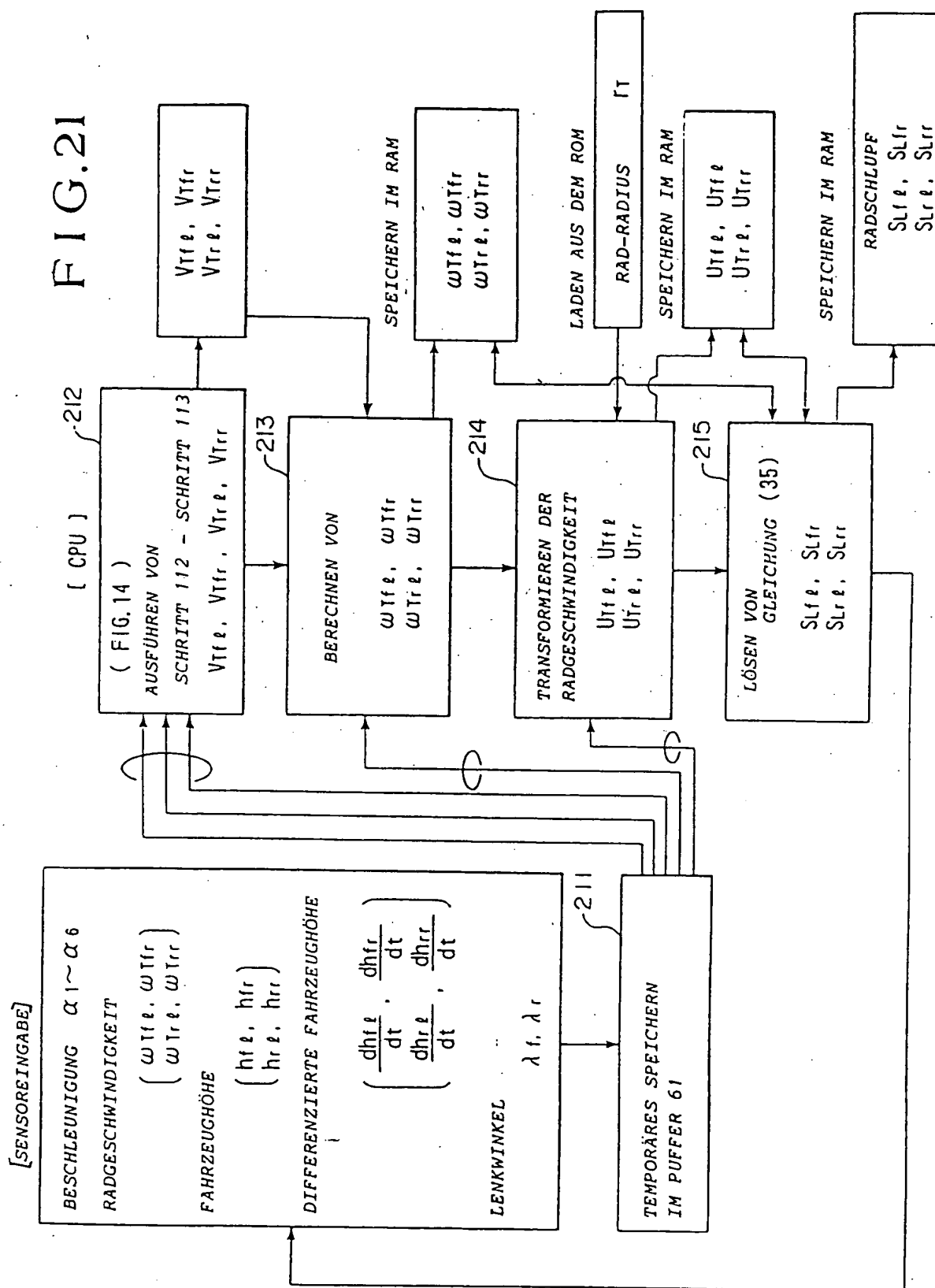


FIG. 22

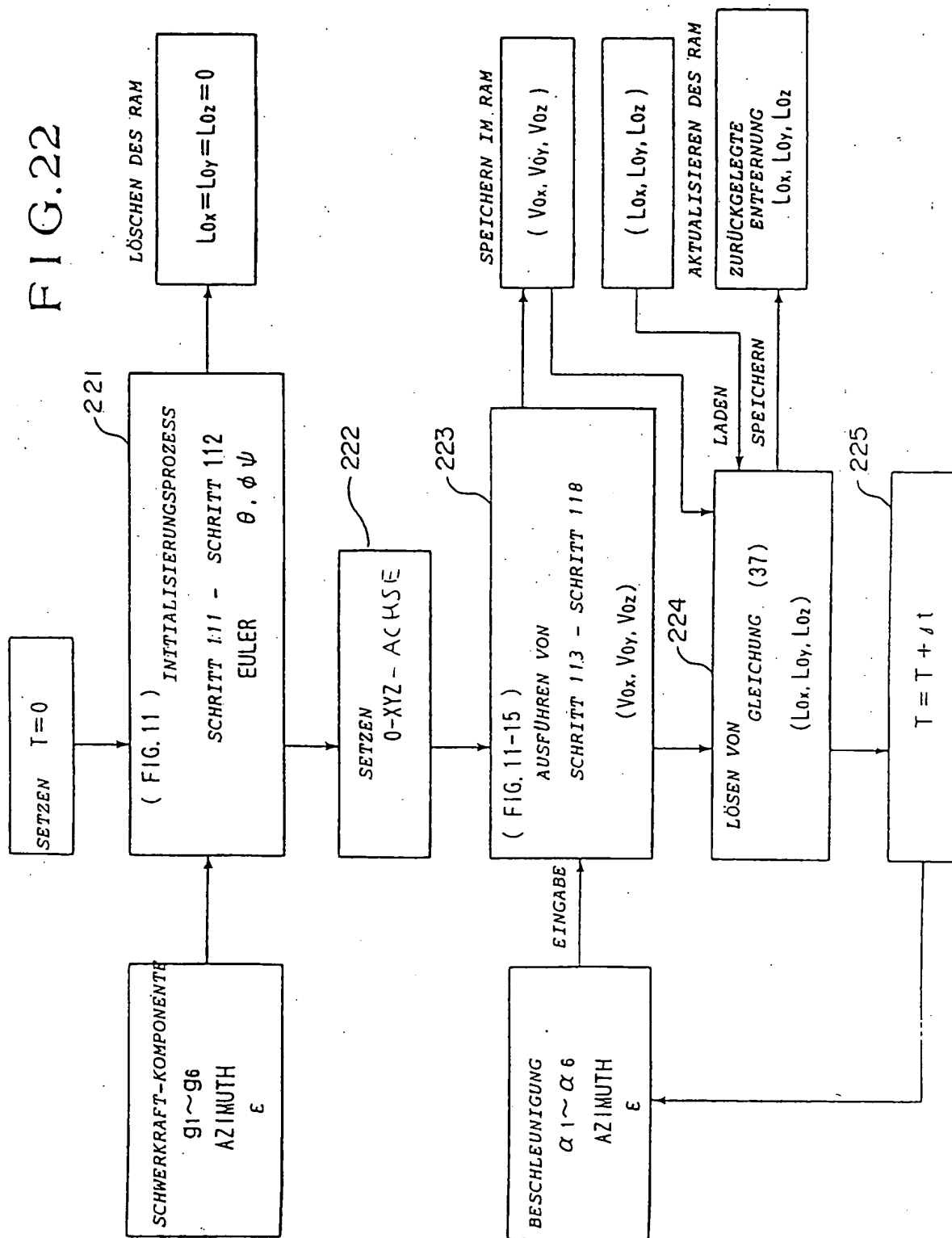
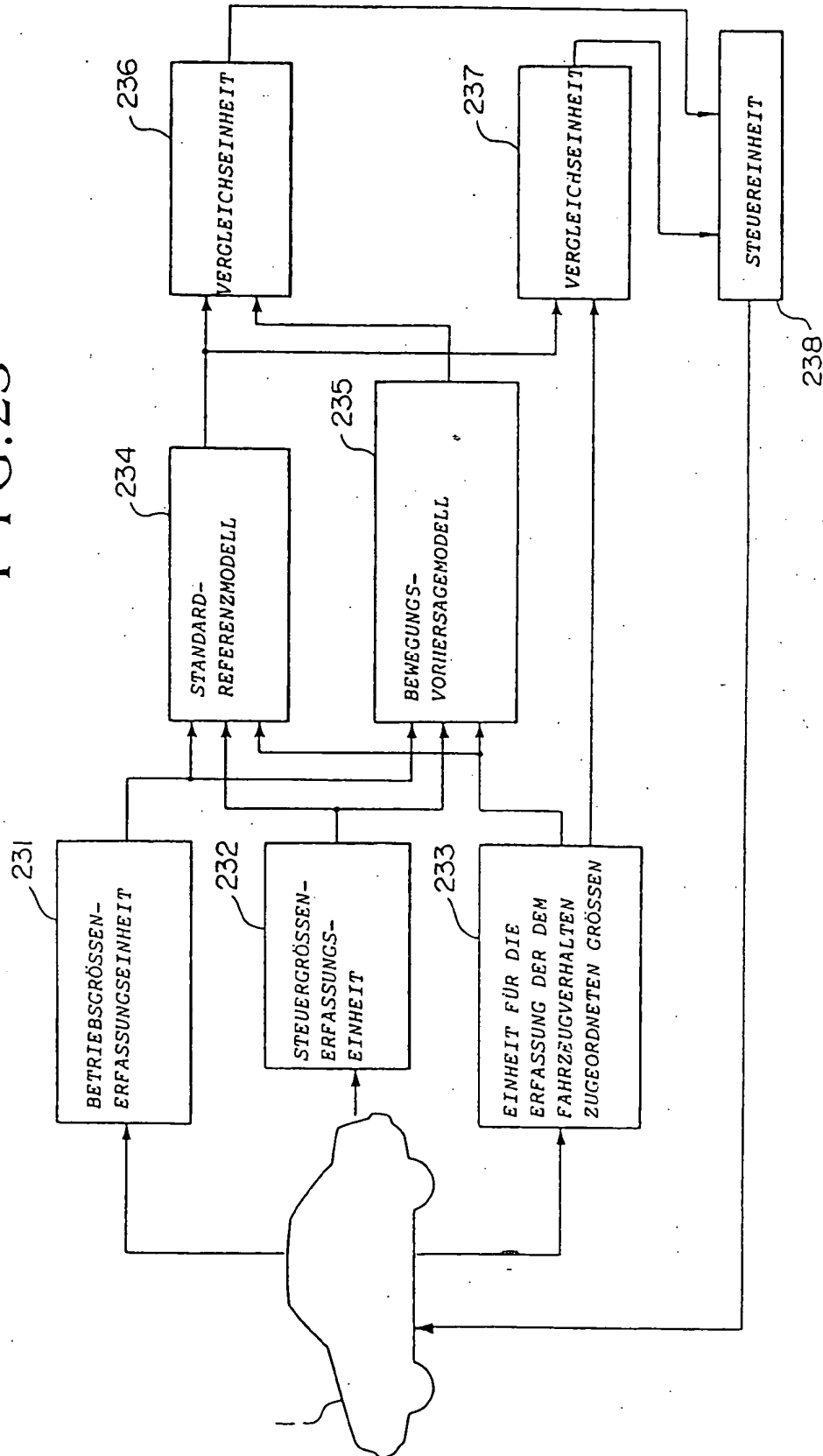


FIG. 23



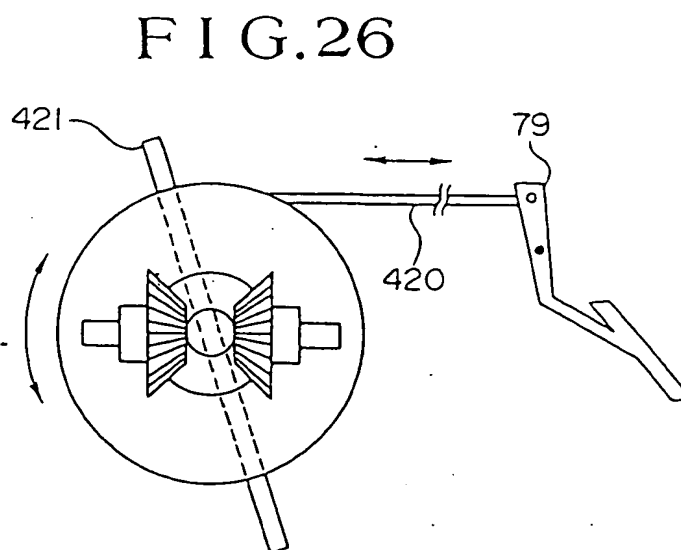
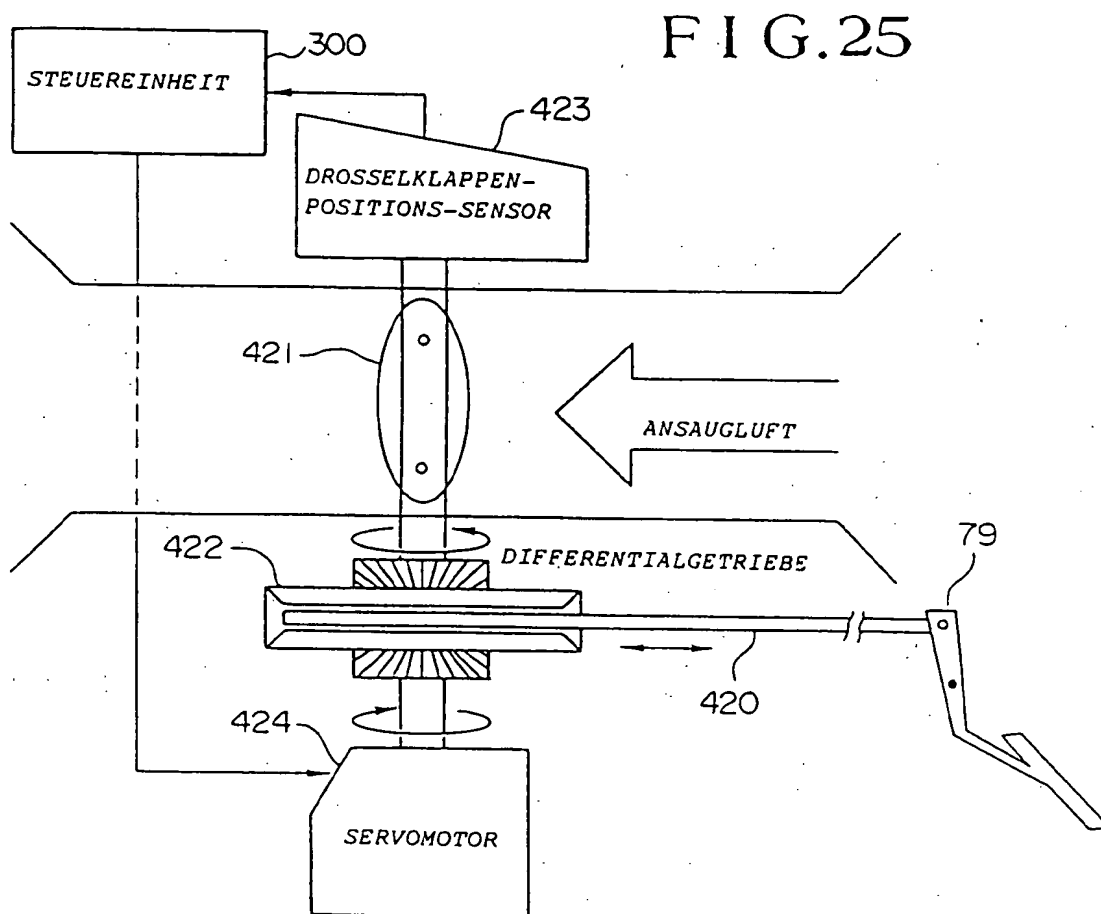
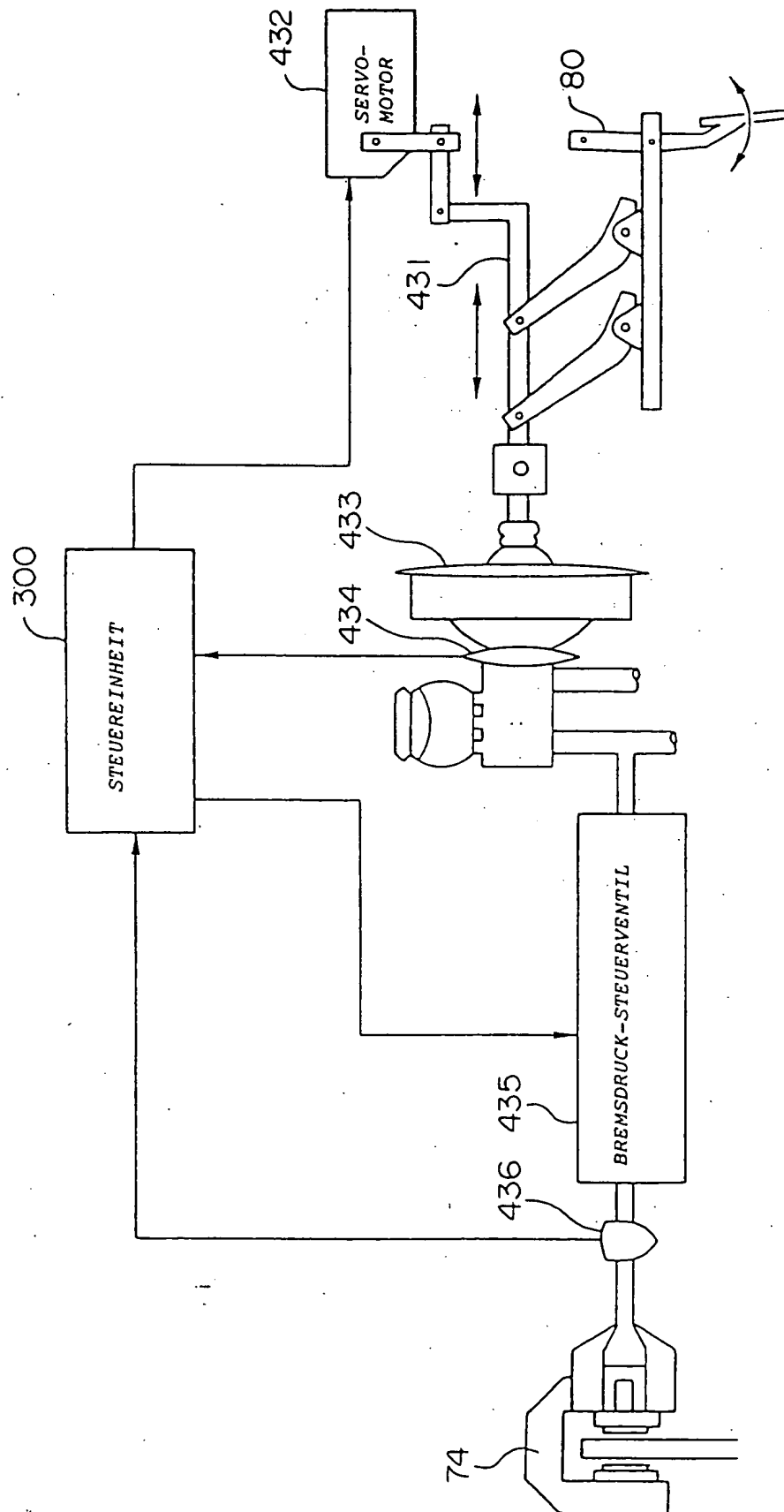


FIG. 27



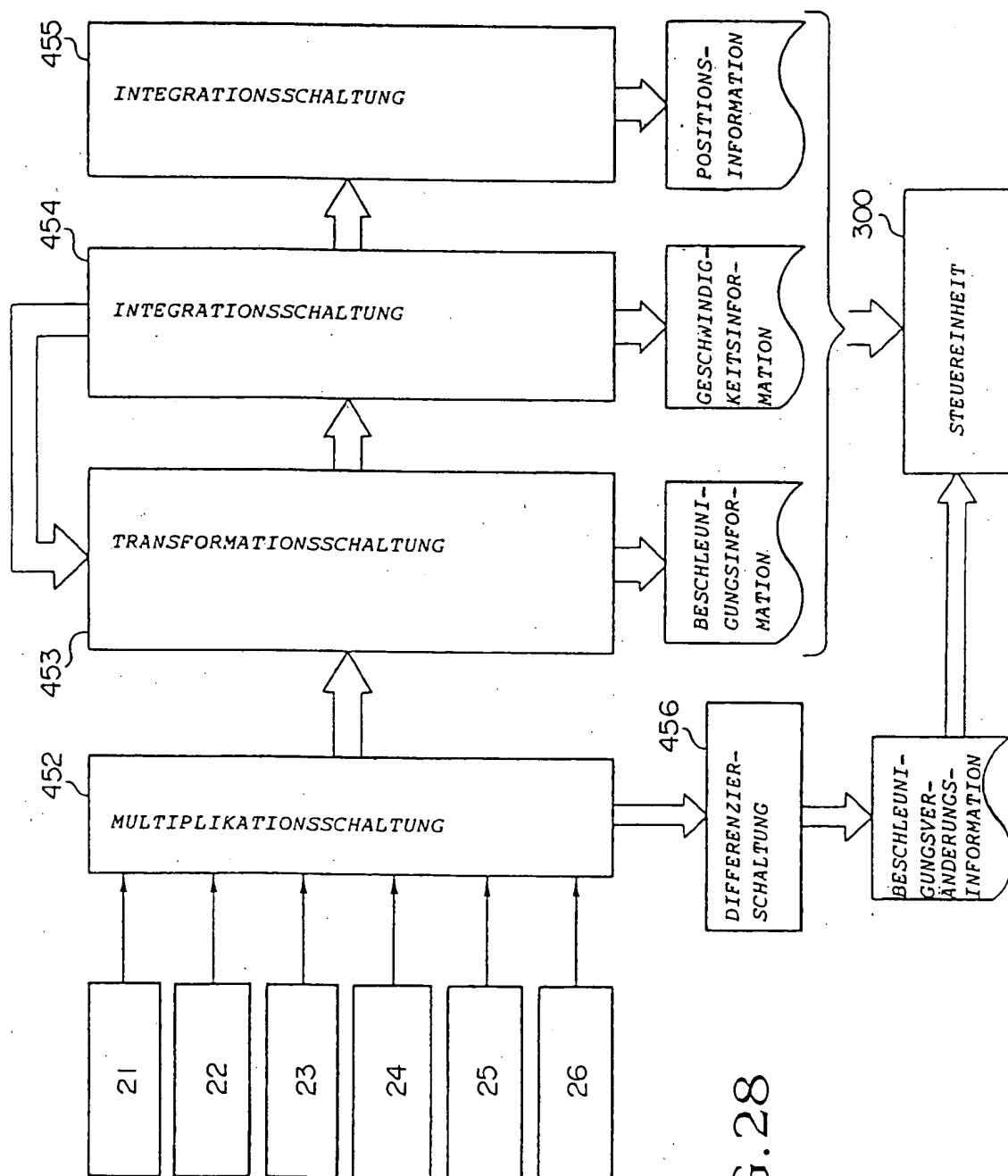


FIG.28

FIG. 29

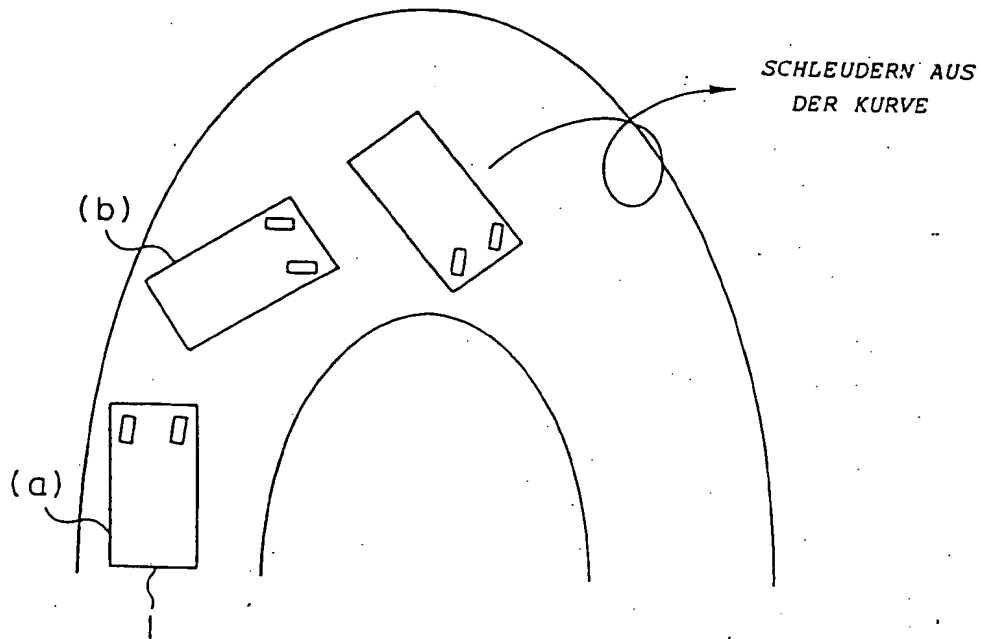


FIG. 30

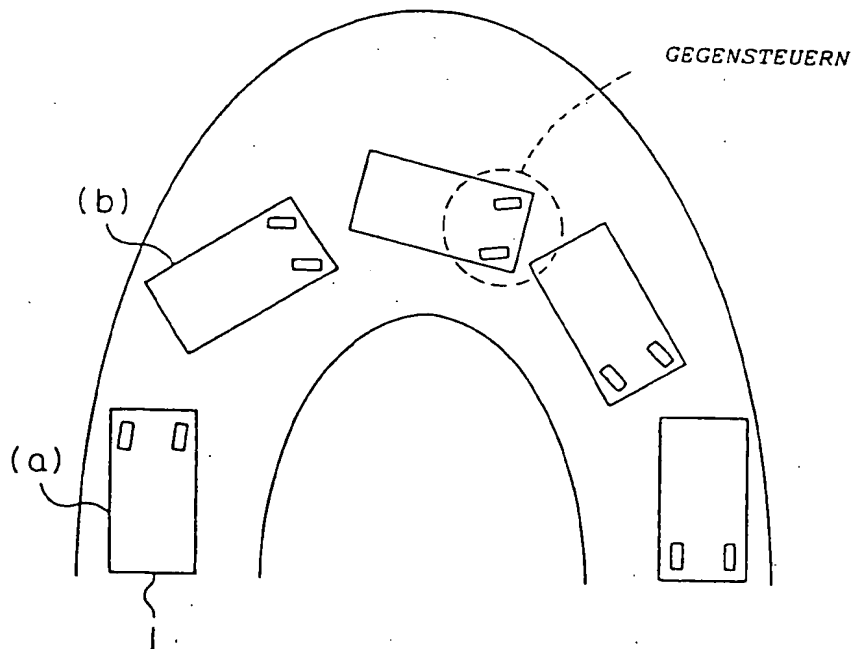


FIG.31

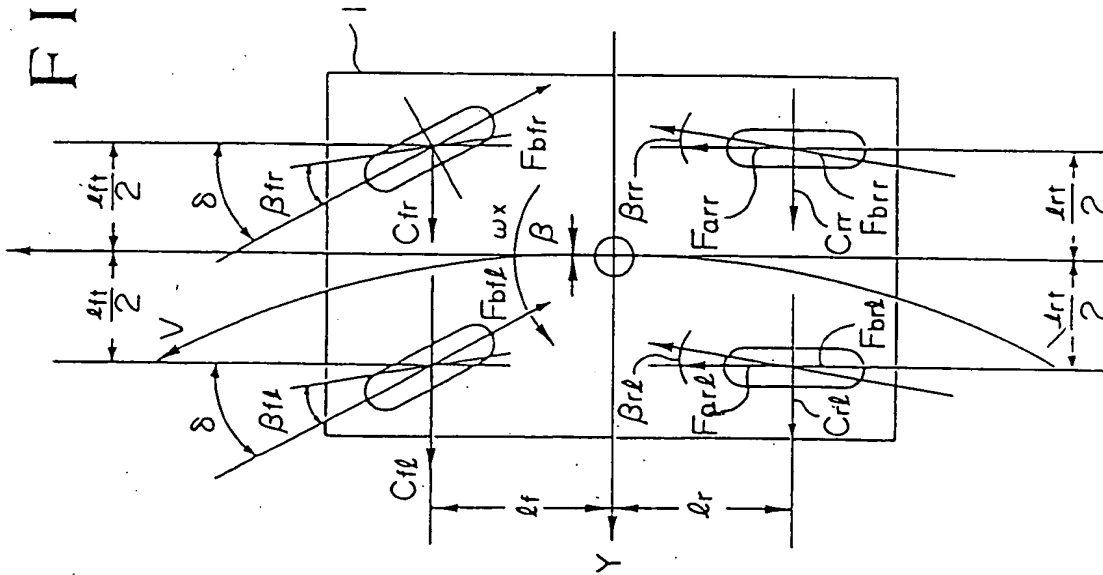


FIG.32

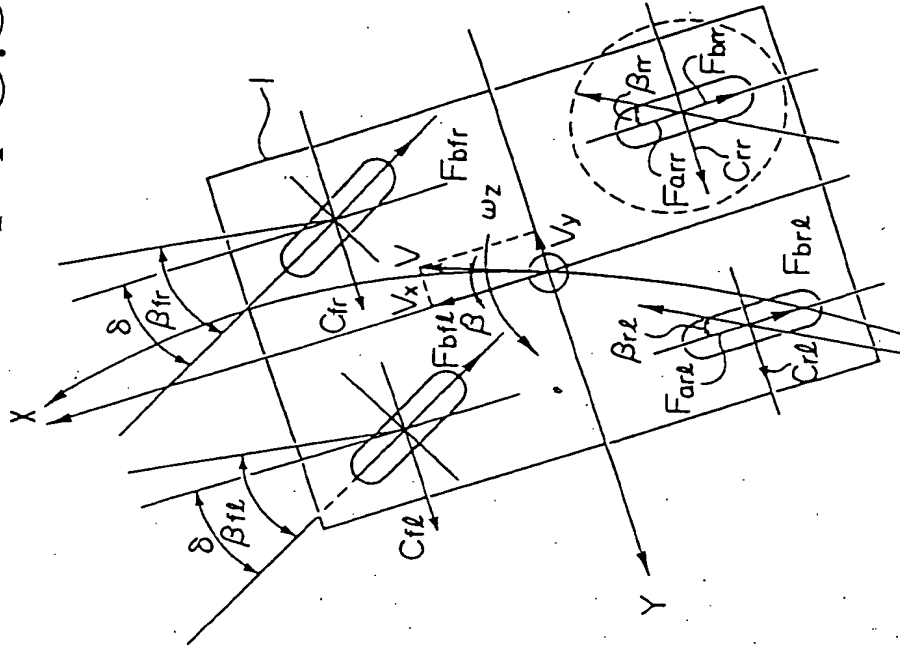


FIG.33

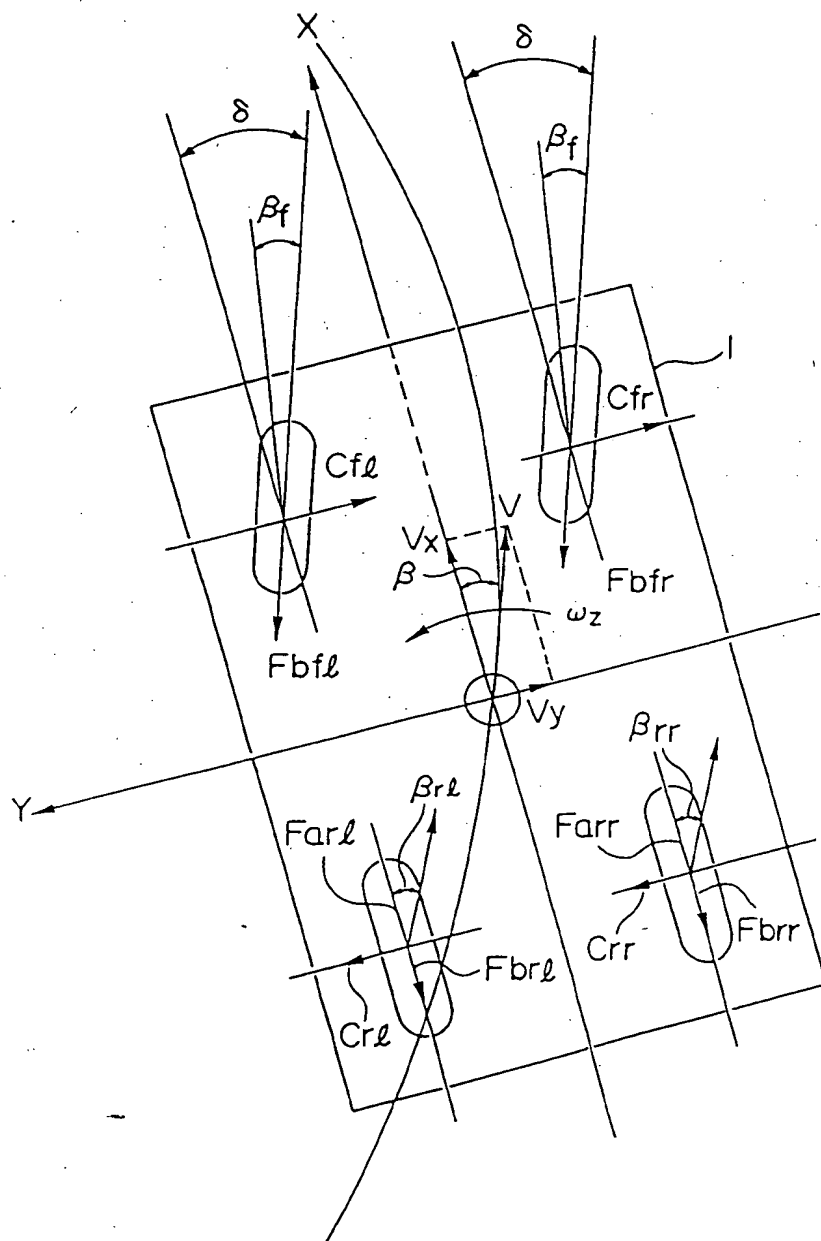


FIG.34

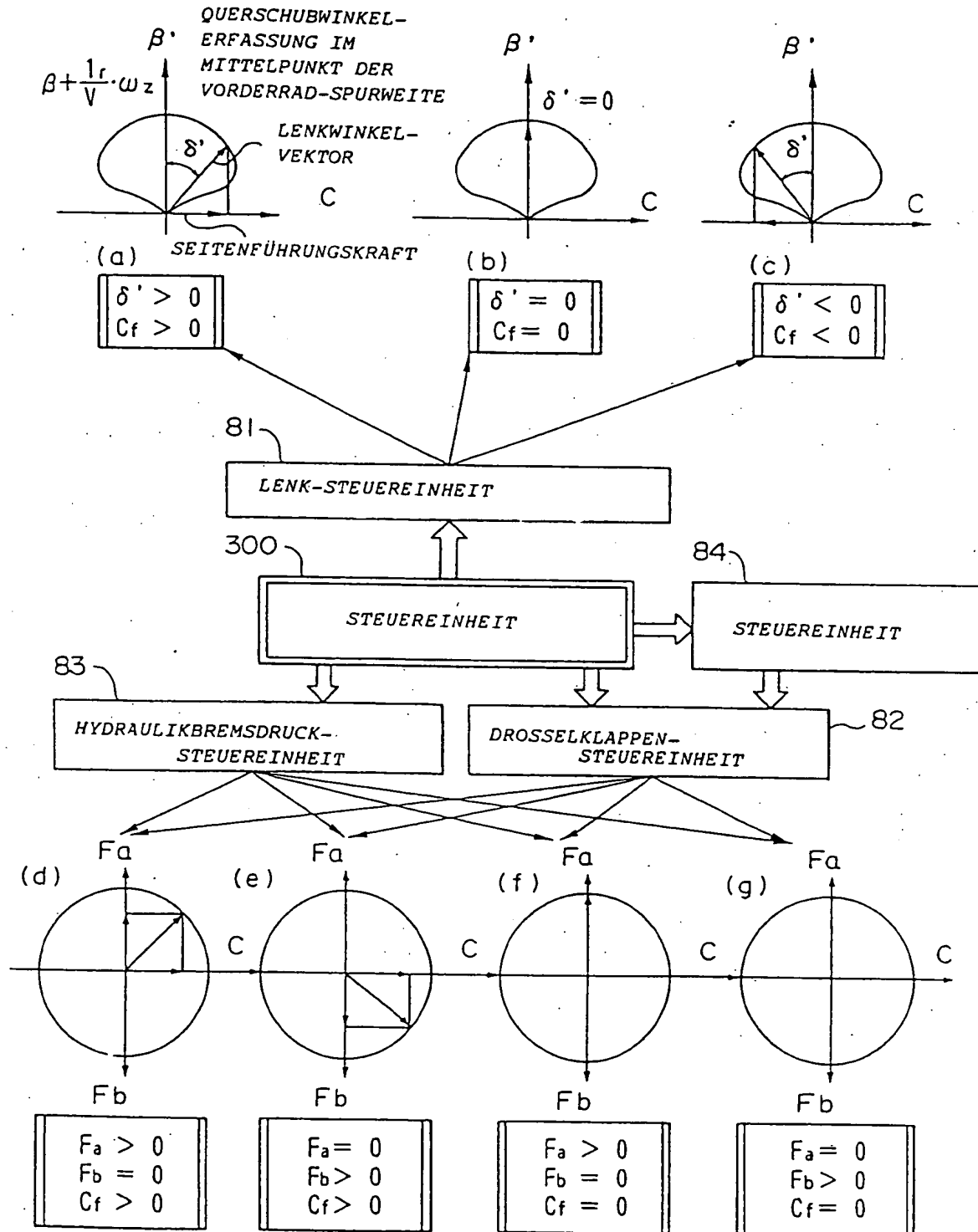


FIG.35

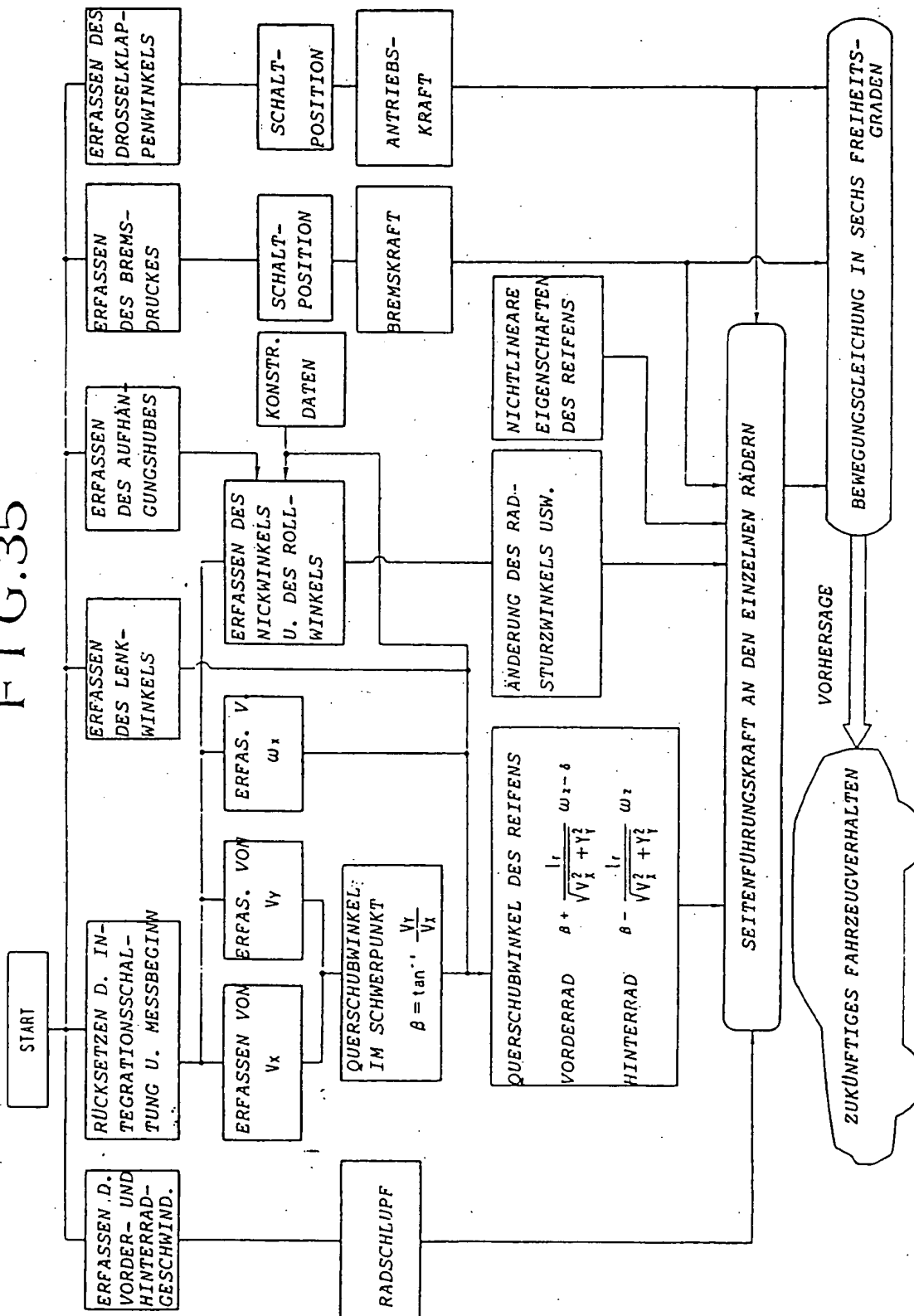


FIG.36

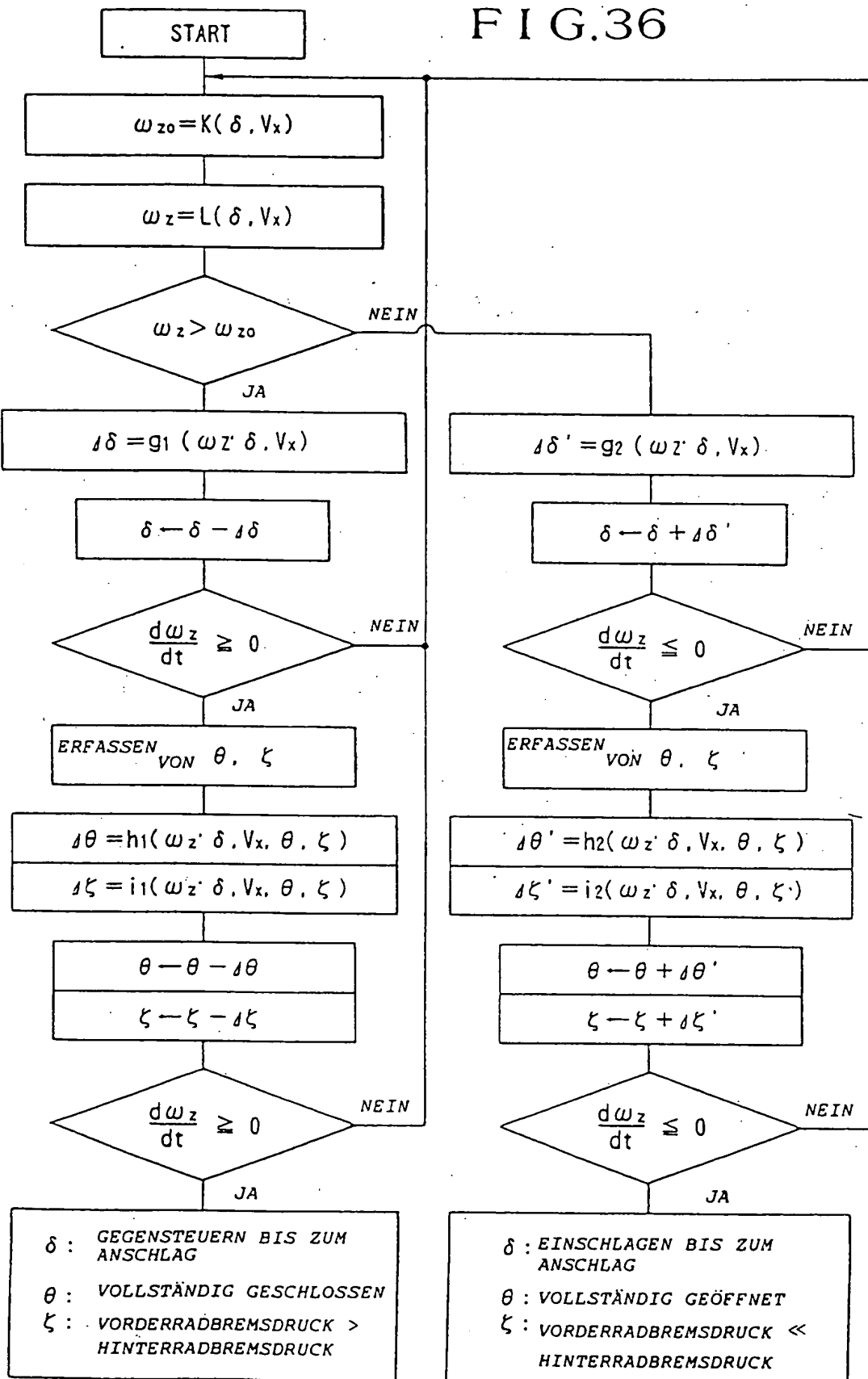


FIG.37

QUERSCHUBWINKEL
IM FAHRZEUG-
SCHWERPUNKT

[β]

80

LENKWINKEL

[δ]

80

0

DROSSELKLAPPEN-
ÖFFNUNGSWINKEL

[θ]

80

BREMSDRUCK

[ξ]

50

ZEIT

FIG.38

QUERSCHUBWINKEL
IM FAHRZEUG-
SCHWERPUNKT

[β]

80

LENKWINKEL

[δ]

80

0

DROSSELKLAPPEN-
ÖFFNUNGSWINKEL

[θ]

80

BREMSDRUCK

[ξ]

50

ZEIT



FIG. 39

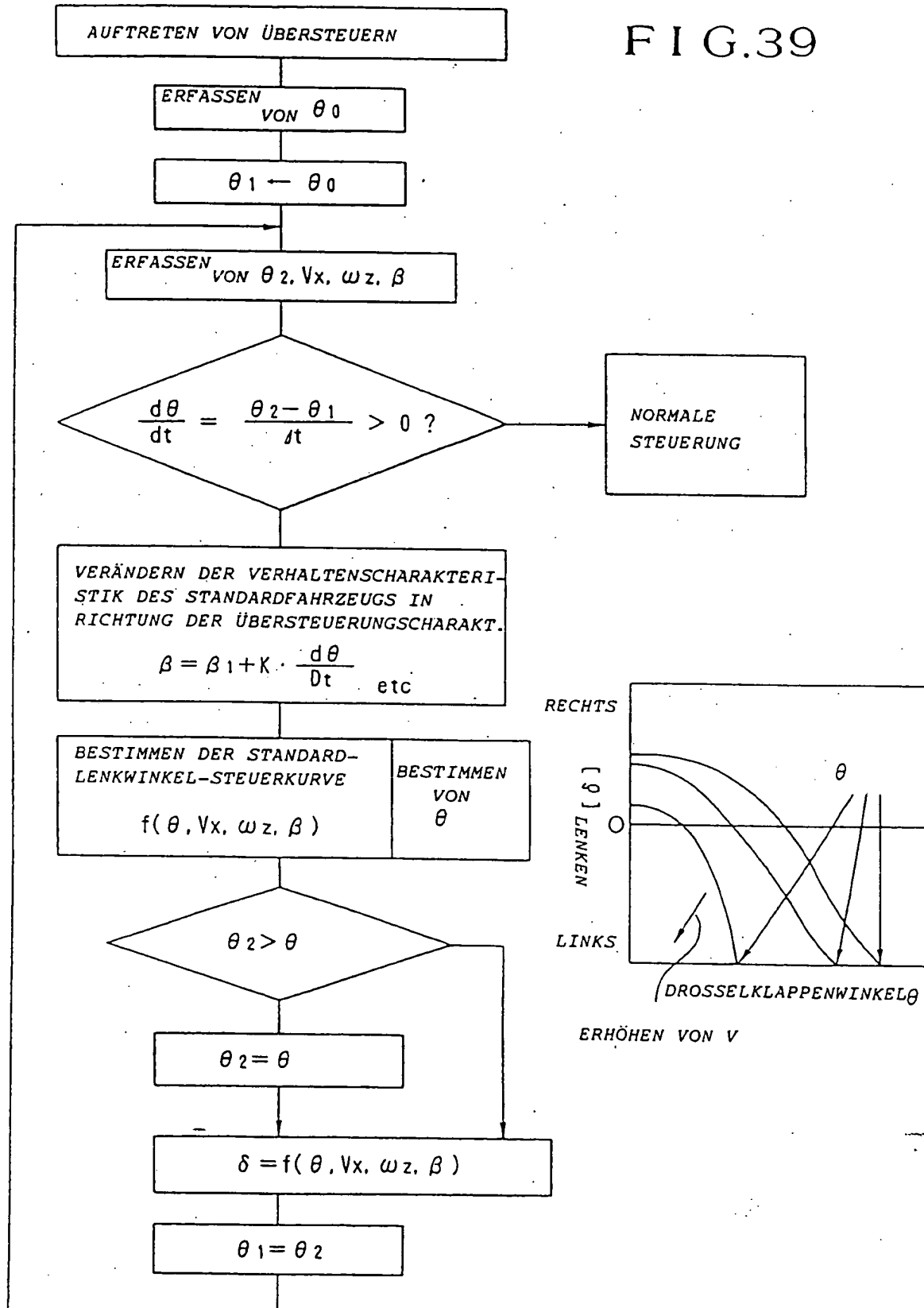
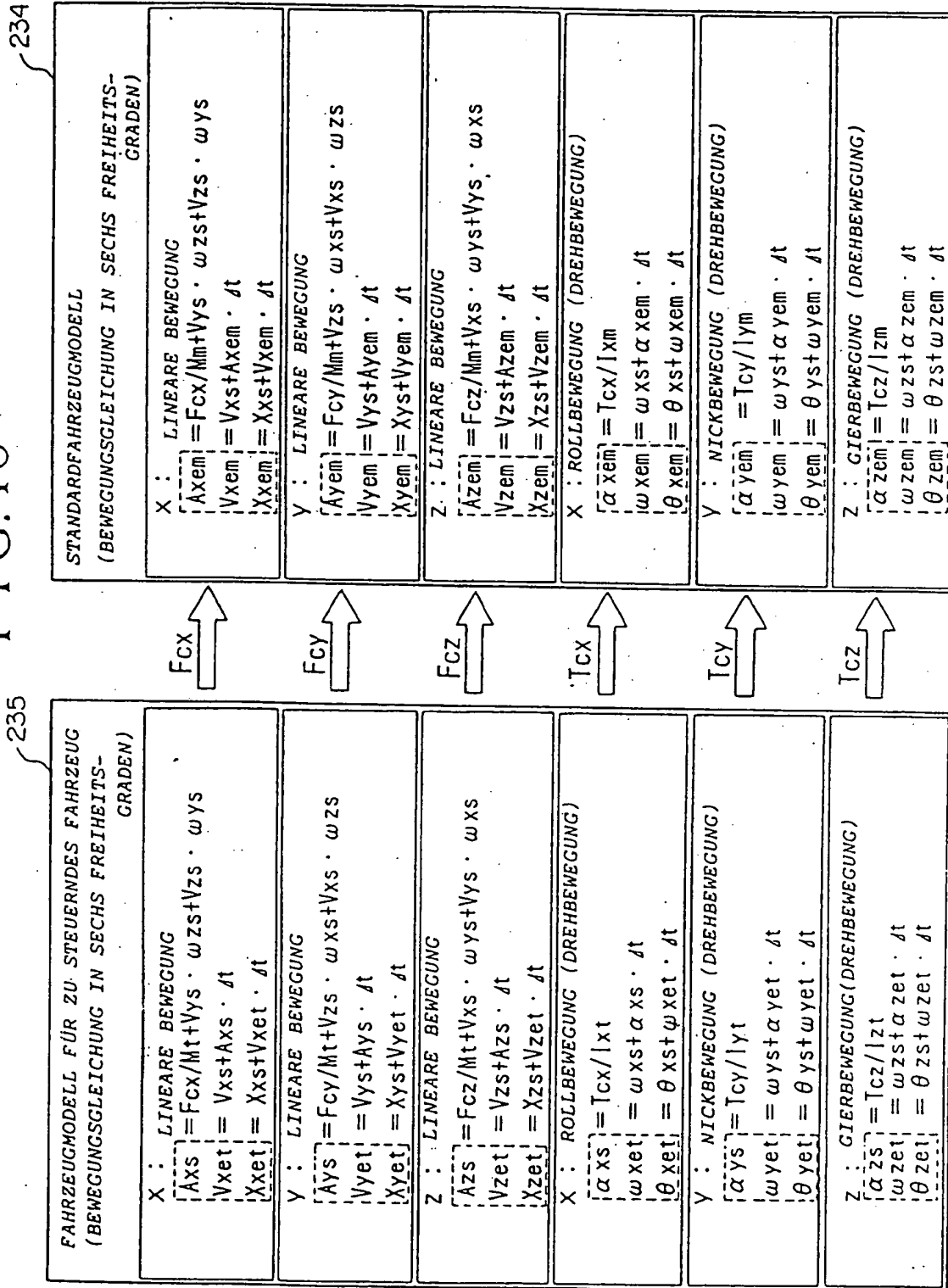


FIG. 40



RECEIVED

APR 22 2002

BRINKS HOFER-ANN ARBO